



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL AKTIF MENGGUNAKAN *METODE MULTI-OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (MOPSO) BERBASIS *DECISION SUPPORT SYSTEM* (DSS)

Fericko Satya Wicaksana
NRP 07111440000175

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, MSc, PhD
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL AKTIF MENGGUNAKAN METODE *MULTI-OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (MOPSO) BERBASIS *DECISION SUPPORT SYSTEM* (DSS)

Fericko Satya Wicaksana
NRP 07111440000175

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, MSc, PhD
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**DETERMINATION OF OPTIMAL LOCATION AND
CAPACITY OF DISTRIBUTED GENERATION (DG) ON
ACTIVE RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM USING MULTI-
OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
(MOPSO) METHOD BASED ON DECISION SUPPORT
SYSTEM (DSS)**

Fericko Satya Wicaksana
NRP 07111440000175

Supervisors

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, MSc, PhD
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN

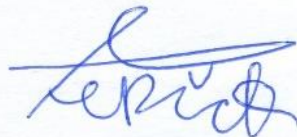
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Penentuan Lokasi dan Kapasitas *Distributed Generation* (DG) Optimal pada Sistem Distribusi Radial Aktif Menggunakan Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) Berbasis *Decision Support System* (DSS)**” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 2 Juli 2018



Fericko Satya Wicaksana

NRP 07111440000175

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS *DISTRIBUTED*
GENERATION (DG) OPTIMAL PADA SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL AKTIF MENGGUNAKAN METODE *MULTI-
OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (MOPSO)*
BERBASIS *DECISION SUPPORT SYSTEM (DSS)***

TUGAS AKHIR

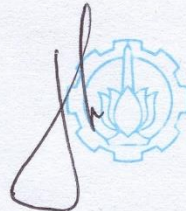
**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

NIP 194907151974121001

NIP 197411292000121001



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Penentuan Lokasi Dan Kapasitas *Distributed Generation* (DG)
Optimal Pada Sistem Distribusi Radial Aktif Menggunakan
Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization*
(MOPSO) Berbasis *Decision Support System* (DSS)**

Nama Mahasiswa : Fericko Satya Wicaksana
NRP : 07111440000175
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, MSc, PhD
NIP : 194907151974121001
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP : 197411292000121001

ABSTRAK

Kebutuhan listrik dunia saat ini semakin meningkat, Hal ini dipengaruhi oleh meningkatnya populasi manusia, proses urbanisasi, dan perkembangan yang luas di sektor industri. Dengan meningkatnya kebutuhan listrik berakibat pada meningkatnya rugi-rugi daya, susut tegangan (*drop* tegangan) dan menurunkan kapabilitas dari jaringan distribusi. Solusi untuk permasalahan ini dapat diatasi dengan salah satunya dengan memasang *Distributed Generation* (DG). Dengan pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada sistem distribusi radial aktif dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran, mengurangi susut tegangan (*drop* tegangan) dan meningkatkan kapabilitas jaringan sistem distribusi. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan direncanakan dan disimulasikan peletakan lokasi dan penentuan kapasitas *Distributed Generation* (DG) yang optimal dengan menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dengan mempertimbangkan rugi-rugi daya listrik dan deviasi tegangan berbasis aplikasi *Decision Support System* (DSS). Dengan dilakukan penempatan *single* DG hingga *multi* DG maka didapatkan hasil, pada Sistem IEEE 33 Bus dengan nilai rugi-rugi daya awal adalah 202.7 KW menjadi 13.475563 KW dengan pemasangan 3 DG dan paada sistem Penyulang Basuki Rahmat nilai Rugi-rugi daya awal adalah 25.38 kW menjadi 1.6795 KW dengan pemasangan 2 DG.

Kata Kunci: *Distributed Generation* (DG), *Decision Support System* (DSS), *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

Determination of Optimal Location and Capacity of Distributed Generation (DG) on Active Radial Distribution System Using Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) Method Based on Decision Support System (DSS)

Name : Fericko Satya Wicaksana
NRP : 07111440000175
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, MSc, PhD
NIP : 194907151974121001
Supervisor II : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP : 197411292000121001

ABSTRACT

The current world's electricity demand is increasing, it is influenced by the increasing of human population, the process of urbanization, and the wide development in industrial sector. With the increasing demand for electricity resulting in increased loss of power, voltage loss (voltage drop) and lower capability of the distribution network. The solution to this problem can be solved by installing Distributed Generation (DG). With the installation of Distributed Generation (DG) on the active radial distribution system can reduce the power losses on the channel, reduce the voltage loss (voltage drop) and increase network distribution system capabilities. Therefore, in this final project will be planned and simulated the optimal placement location and sizing of Distributed Generation (DG) by using Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) method with considering the loss of electric power and voltage deviation, based on application of Decision Support System (DSS). With the placement of single DG to multi DG then the results obtained, on IEEE 33 Bus System with initial power loss value is 202.7 KW reduce to be 13.475563 KW with installation of 3 DG and on Basuki Rahmat system initial power loss is 25.38 kW reduce to be 1.6795 KW with 2 DG installation.

Keywords: *Distributed Generation (DG), Decision Support System (DSS), Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO),*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Penentuan Lokasi dan Kapasitas *Distributed Generation* (DG) Optimal pada Sistem Distribusi Radial Aktif Menggunakan Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) Berbasis *Decision Support System* (DSS)”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
3. Papa, Mama dan adik-adik penulis di Jakarta yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan semangat kepada penulis baik dalam keadaan senang ataupun susah.
4. Bapak Prof. Adi Soeprijanto, Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., MT. dan Ibu Ni Ketut Aryani, M.T beserta teman-teman asisten, trainee dan calon trainee serta member lab PSSSL B103 yang telah menciptakan dan memberikan dukungan, penjelasan, dan juga suasana kondusif dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Bapak Suyanto yang telah memberikan banyak bimbingan dan arahan sejak awal pengajuan tugas akhir ini sampai kini selesainya tugas akhir ini.
6. Yudha Anugerah dan Ahmad Febri Firmansyah yang telah memberikan pelajaran berharga di PSSSL dan seluruh kakak asisten 2012 dan 2013.
7. Trainee angkatan 2015 dan 2016 yang merupakan sobat perjuangan PSSSL 2017 – 2018
8. Saudara-saudara asistem PSSSL 2014 yang merupakan saudara seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

9. Seluruh teman-teman e54, terima kasih atas cerita dan perhatiannya selama ini.
10. Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Elektro yang telah berjasa selama empat tahun membantu penulis selama kuliah dan telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat.
11. Teman-teman *LBE* yang menjadi partner diskusi dan bimbingan selama satu semester penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER DALAM.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika penulisan	5
1.7 Relevansi.....	6
BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK RADIAL DENGAN DISTRIBUTED GENERATION (DG).....	7
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik Radial.....	7
2.2 Analisa aliran Daya	8
2.2.1 Definisi Analisa Aliran Daya	8
2.2.2 Metode <i>Forward Backward Sweep</i>	8
2.2.3 Analisa Aliran Daya <i>Topology Network</i>	9
2.3 Rugi-rugi Daya Listrik dan Susut tegangan.....	12

2.4	Deviasi Tegangan	14
2.5	<i>Distributed Generation (DG)</i>	15
BAB 3 PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS DG OPTIMAL MENGUNAKAN METODE MOPSO.....		19
3.1	<i>Diagram</i> Metode Optimisasi Lokasi dan kapasitas DG	19
3.2	Data Beban dan Data Saluran	20
3.3	Permodelan Optimisasi MOPSO	23
3.3.1	Inputan Parameter MOPSO.....	24
3.3.2	Permodelan MOPSO dalam Penempatan Optimal DG	25
3.4	Pemodelan DG sebagai <i>Negative PQ Load</i>	27
3.5	Fungsi Objektif	28
3.5.1	Rugi-rugi Daya Aktif	28
3.5.2	Deviasi Tegangan	28
3.6	Batasan (<i>Constraint</i>).....	29
3.7	Metode <i>Fuzzy Linear</i>	29
3.8	Analisa Hasil Menggunakan DSS	30
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA		33
4.1	Hasil Analisis Aliran Daya pada Kondisi Awal Sistem	33
4.1.1	Sistem Distribusi IEEE33 Bus.....	33
4.1.2	Sistem Penyulang Basuki Rahmat (Surabaya)	39
4.2	Analisa Optimasi pemasangan <i>Distributed Generation (DG)</i>	46
4.2.1	Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus.....	47
4.2.2	Sistem Penyulang Basuki Rahmat Surabaya.....	57
4.3	Validasi Data menggunakan Software ETAP.....	68

4.3.1 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Distribusi Radial IEEE 33 BUS.....	68
4.3.2 Sistem Penyulang Basuki Rahmat Surabaya.....	69
4.4 Perbandingan Metode MOPSO dan PSO	70
BAB 5 PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Sistem distribusi radial bentuk pohon	7
Gambar 2. 2	Contoh Single Line Diagram Sistem Radial.....	9
Gambar 2. 3	Contoh gambar Saluran Sederhana	13
Gambar 2. 4	Rangkaian saluran sederhana	14
Gambar 3. 1	<i>Flowchart</i> Program Metode MOPSO.....	19
Gambar 3. 2	<i>Flowchart</i> Program Metode MOPSO.....	20
Gambar 3. 3	<i>Single Line Diagram</i> Jaring Distribusi IEEE 33 Bus	21
Gambar 3. 4	<i>Single Line Diagram</i> Jaring Distribusi penyulang Basuki Rahmat Surabaya	22
Gambar 3. 5	Permodelan MOPSO dalam Peletakan Optimal DG	25
Gambar 3. 6	<i>Distributed Generation</i> dimodelkan sebagai Negatif PQ load	27
Gambar 3. 7	Tampilan <i>Decision Support System</i> (DSS)	32
Gambar 4. 1	Solusi <i>pareto front optimal</i> untuk (a)1DG (b)2DG dan (c)3DG.....	47
Gambar 4. 2	Grafik perbandingan profil tegangan bus pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG	49
Gambar 4. 3	Perbandingan profil tegangan bus pada sistem IEEE 33 bus (a) sebelum dan (b) setelah pemasangan 1 DG	50
Gambar 4. 4	Grafik perbandingan arus saluran pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG	53
Gambar 4. 5	Grafik perbandingan Rugi daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG	55
Gambar 4. 6	Solusi <i>pareto front optimal</i> untuk (a)1DG (b)2DG.....	57
Gambar 4. 7	Grafik perbandingan Tegangan bus pada sistem Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG	60
Gambar 4. 8	Grafik perbandingan Tegangan bus pada sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG....	64
Gambar 4. 9	Grafik perbandingan Rugi daya aktif pada sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG	66

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkit	15
Tabel 2. 2 Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan	16
Tabel 4. 1 Tegangan setiap bus sistem IEEE 33 bus.....	34
Tabel 4. 2 Arus setiap saluran sistem IEEE 33 bus.....	35
Tabel 4. 3 Rugi daya aktif pada jaringan sistem IEEE 33 bus	36
Tabel 4. 4 Rugi daya aktif pada jaringan sistem IEEE 33 bus (lanjutan)	37
Tabel 4. 5 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan sistem IEEE 33 bus.	37
Tabel 4. 6 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan sistem IEEE 33 bus (Lanjutan)	38
Tabel 4. 7 Tegangan setiap bus sistem penyulang Basuki Rahmat	39
Tabel 4. 8 Tegangan setiap bus sistem penyulang Basuki Rahmat (Lanjutan)	40
Tabel 4. 9 Arus setiap saluran sistem penyulang Basuki Rahmat	41
Tabel 4. 10 Arus setiap saluran sistem penyulang Basuki Rahmat (Lanjutan)	42
Tabel 4. 11 Rugi daya aktif pada jaringan penyulang Basuki Rahmat .	43
Tabel 4. 12 Rugi daya aktif pada jaringan penyulang Basuki Rahmat (lanjutan)	44
Tabel 4. 13 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan jaringan penyulang Basuki Rahmat.....	45
Tabel 4. 14 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan jaringan penyulang Basuki Rahmat (Lanjutan)	46
Tabel 4. 15 Lokasi dan ukuran DG optimal pada sistem IEEE 33 bus .	48
Tabel 4. 16 Profil tegangan pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG	48
Tabel 4. 17 Profil tegangan pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	49
Tabel 4. 18 Aliran daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG	51
Tabel 4. 19 Aliran daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	52
Tabel 4. 20 Aliran daya Reaktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG	52
Tabel 4. 21 Aliran daya Reaktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	53
Tabel 4. 22 Rugi daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG	54

Tabel 4. 23	Rugi daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	55
Tabel 4. 24	Nilai Deviasi Tegangan pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG.....	56
Tabel 4. 25	Lokasi dan ukuran DG optimal pada sistem penyulang basuki rahmat.....	57
Tabel 4. 26	Profil tegangan pada sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG	58
Tabel 4. 27	Profil tegangan pada sistem sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (Lanjutan).	59
Tabel 4. 28	Aliran daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG	60
Tabel 4. 29	Aliran daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	61
Tabel 4. 30	Aliran daya reaktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	62
Tabel 4. 31	Aliran daya reaktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	63
Tabel 4. 32	Rugi-rugi daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	65
Tabel 4. 33	Rugi-rugi daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)	66
Tabel 4. 34	Perbandingan deviasi tegangan pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG	67
Tabel 4. 35	Perbandingan deviasi tegangan pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG	68
Tabel 4. 36	Hasil Validasi nilai total rugi-rugi daya aktif setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33 bus	69
Tabel 4. 37	Hasil Validasi nilai total rugi-rugi daya aktif losses setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33 bus	69
Tabel 4. 38	Hasil Validasi nilai total rugi-rugi daya aktif setiap kasus pada sistem jaringan penyulang Basuki Rahmat Surabaya	69
Tabel 4. 39	Hasil Validasi nilai total deviasi tegangan setiap kasus pada sistem jaringan penyulang Basuki Rahmat Surabaya	70
Tabel 4. 40	Hasil Perbandingan Metode MOPSO dan PSO.....	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik dunia saat ini semakin bertambah. Hal ini dipengaruhi oleh meningkatnya populasi, proses urbanisasi, dan pengembangan yang luas pada sektor industri. Permasalahan ini membuat perusahaan pembangkit tenaga listrik menghadapi tantangan dalam proses pembangkitan dan mengalirkan tenaga listrik. Untuk tetap dapat melayani kebutuhan tenaga listrik, maka sistem tenaga listrik haruslah dikembangkan bersamaan dengan kenaikan kebutuhan akan tenaga listrik.

Akibat dengan meningkatnya kebutuhan beban listrik, maka dapat menyebabkan meningkatnya rugi-rugi daya, susut tegangan (*drop tegangan*) dan menurunkan kapasitas saluran daya listrik pada jaringan distribusi [1]. Salah satu cara mengatasi permasalahan ini dapat dengan cara pemasangan *Distributed Generation* (DG) atau pembangkit daya listrik tersebar. Dengan pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada sistem distribusi dapat mencegah dalam membangun saluran transmisi dan saluran distribusi baru untuk mensuplai daya listrik dan juga dapat berguna dalam penghematan ekonomi [2]. Dengan menggunakan *Distributed Generation* (DG) dapat meningkatkan keuntungan dan kapabilitas untuk sistem jaringan distribusi. Dalam perencanaan pemasangan *Distributed Generation* (DG) diperlukan kajian lebih lanjut mengenai efek yang terjadi setelah pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada sistem jaringan distribusi.

Terdapat beberapa parameter yang menjadi pertimbangan dalam pemasangan *Distributed Generation* (DG) sebagai contoh mereduksi rugi-rugi daya pada saluran, peningkatan profil nilai tegangan, perbaikan factor daya, meningkatkan keandalan dan kestabilan sistem. Pada penentuan lokasi dan kapasitas pemasangan *Distributed Generation* (DG) dapat dikaji dengan menggunakan *Artificial Intelligent* yang diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih ilmiah dan komperhensif dibandingkan dengan metode analitik.

Sesuai dengan hal yang telah dijabarkan diatas maka dirancang sebuah program dan simulator penentuan lokasi dan kapasitas optimal *Distributed Generation* (DG) dengan menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) pada jaringan distribusi radial dengan mempertimbangkan rugi-rugi daya pada jaringan, dan profil tegangan. Simulator yang digunakan adalah pengembangan aplikasi *Decision Support System* (DSS) yang dapat digunakan sebagai *interface* dalam menganalisa data dan menampilkan hasil dari simulasi perbaikan performa sistem distribusi tenaga listrik baik dalam berbentuk data tabel, data grafik, dan data gambar. Dengan membandingkan hasil simulasi peletakan *Distributed Generation* (DG) menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dengan aliran daya kondisi awal kita dapat juga membuat keputusan dalam pemasangan *Distributed Generation* (DG) yang optimal.

1.2 Permasalahan

Sesuai dengan pemaparan yang telah dipaparkan diatas maka didapatkan perumusan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan lokasi dan kapasitas pemasangan *Distributed Generation* (DG) yang optimal menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) pada sistem distribusi radial aktif tenaga listrik dengan mempertimbangkan rugi-rugi jaringan kelistrikan dan profil tegangan.
2. Bagaimana menerapkan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dalam menentukan lokasi dan kapasitas pemasangan *Distributed Generation* (DG) yang optimal pada sistem distribusi aktif tenaga listrik radial yang berbasis *Decision Support System* (DSS)
3. Bagaimana hasil perbandingan antara metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) yang digunakan dalam penelitian ini dengan metode *Artificial Intelligent Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam penentuan lokasi dan kapasitas *Distributed Generation* (DG) pada sistem IEEE 33 bus radial

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin didapatkan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengoptimalkan penempatan lokasi dan kapasitas pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada sistem distribusi radial aktif menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dengan mempertimbangkan rugi-rugi saluran, dan deviasi tegangan.
2. Menerapkan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) untuk penentuan lokasi dan kapasitas pemasangan *Distributed Generation* (DG) yang optimal pada sistem distribusi radial aktif yang berbasis *Decision Support System* (DSS)
3. Mengetahui hasil perbandingan dalam menentukan lokasi dan kapasitas *Distributed Generation* (DG) menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) yang digunakan pada penelitian ini dengan metode *Artificial Intelligent Particle Swarm Optimization* (PSO) pada sistem IEEE 33 bus radial

1.4 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, terdapat batasan yang diperlukan, diantaranya:

1. Optimisasi fungsi objektif yang digunakan pada metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) untuk menentukan lokasi dan kapasitas pemasangan DG adalah meminimalkan rugi-rugi daya pada saluran, dan meminimalkan deviasi tegangan
2. Analisa terbatas hanya pada sistem distribusi Radial IEEE 33 Bus dan sistem penyulang Basuki Rahmat Surabaya 51 Bus dalam keadaan seimbang ($R=S=T$).
3. *Distributed Generation* (DG) yang digunakan adalah Tipe 2 (dapat mensuplai daya aktif dan reaktif) dengan karakteristik DG yang digunakan tidak diperhatikan
4. Tidak memperhatikan kualitas daya listrik kecuali rugi-rugi saluran dan profil tegangan.

5. *Decision Support System* (DSS) yang digunakan adalah aplikasi pengembangan DSS milik Laboratorium Simulasi Sistem tenaga ITS.
6. *Decision Support System* (DSS) digunakan hanya sebagai *interface* dalam menganalisa dan menampilkan hasil penempatan optimal *Distributed Generation* (DG).

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literature tugas akhir ini bersumber dari artikel ilmiah, jurnal dan *text book*. Dengan mengkaji mengenai beberapa hal yang dapat menunjang penelitian ini seperti, metode *artificial intelligence* yang digunakan dalam penentuan lokasi dan kapasitas *Distributed Generation* (DG), analisis aliran daya pada sistem radial, dan tatacara perancangan aplikasi tambahan pada *Decision Support Systems* (DSS).

2. Pengumpulan Data

Data yang perlu dikumpulkan atau dimiliki dalam melakukan tugas akhir ini adalah Data sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan sistem penyulang Basuki Rahmat Surabaya berupa data beban dan data saluran, serta diperlukan juga data hasil pengujian dengan metode *artificial intelligence* yang berbeda jika tersedia.

3. Permodelan Sistem Dan Perancangan Metode

Melakukan permodelan pada sistem distribusi radial, pemodelan aliran daya, serta perancangan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dalam menentukan lokasi dan kapasitas optimal pemasangan *Distributed Generation* (DG) menggunakan MATLAB. Selanjutnya program MOPSO pada MATLAB yang telah divalidasi akan diprogram ulang pada aplikasi *Decision Support Systems* (DSS).

4. Simulasi Dan Analisis

Setelah program pada MATLAB selesai dirancang, maka dilakukan simulasi pada sistem IEEE 33 bus dengan mempertimbangkan fungsi objektif yang telah ditentukan secara bersamaan (*simultaneous*). Jika hasil simulasi menggunakan MATLAB telah divalidasi, maka Selanjutnya melakukan Simulasi pada aplikasi *Decision Support System* (DSS). Dengan Menggunakan *Decision Support System* (DSS) dilakukan penampilan hasil analisa penggunaan metode MOPSO dalam penentuan lokasi dan kapasitas DG.

5. Penyusunan Laporan dan Kesimpulan

Penyusunan laporan dari hasil penelitian ini membahas mengenai permasalahan, landasan teori yang digunakan, metode yang digunakan pada penelitian ini, hasil dan analisis sebelum dan sesudah adanya pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada sistem, khususnya pada nilai rugi-rugi daya pada saluran dan profil tegangan pada sistem, dan ditarik kesimpulan serta pemberian saran pada penelitian ini.

1.6 Sistematika penulisan

Untuk memberikan gambaran dan mempermudah mempelajari isi laporan maka pada penulisan laporan ini dibagi menjadi lima bab, secara garis besar kami uraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari penulisan tugas akhir, permasalahan yang akan diangkat dalam tugas akhir, batasan masalah, tujuan penulisan, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi pengerjaan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan dasaran teori yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu, Sistem Distribusi Tenaga Listrik radial, Analisis Aliran Daya, Analisis Aliran Daya *Topology Network*, Rugi – rugi Saluran dan deviasi tegangan pada sistem Distribusi, *Distributed Generation* (DG), Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO), dan *Decision Support System* (DSS). Dasaran-dasaran tersebut digunakan sebagai obyek kajian pada tugas akhir ini.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMODELAN

Pada tahap ini menjelaskan mengenai penerapan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dalam menentukan lokasi dan ukuran optimal DG pada sistem distribusi radial, dan pengaplikasian pada aplikasi *Decision Support System* (DSS).

BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

Selanjutnya, pada tahap ini memberikan simulasi dan analisis mengenai hasil dari pengujian tentang penentuan lokasi dan kapasitas optimal DG menggunakan metode MOPSO. Sehingga diperoleh rugi – rugi jaringan dan deviasi tegangan yang paling rendah yang memenuhi batasan yang telah ditentukan pada sistem distribusi radian IEEE 33 bus dan sistem penyulang Basuki Rahmat Surabaya

BAB V PENUTUP

Pada bab terakhir ini menjelaskan mengenai kesimpulan dan saran dari hasil penelitian tugas akhir yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi yang dapat digunakan sebagai metode dalam menentukan lokasi dan kapasitas *Distributed Generation* (DG) pada jaringan sistem distribusi radial bagi perusahaan penyedia tenaga listrik.
2. Menjadi referensi bahan penelitian selanjutnya mengenai penentuan lokasi dan kapasitas *Distributed Generation*(DG) pada jaringan sistem distribusi radial tenaga kelistrikan
3. Menjadi referensi dalam membuat aplikasi yang dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan kapasitas pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada jaringan sistem distribusi radial.

BAB 2

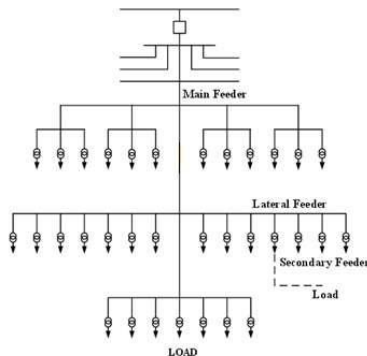
SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK RADIAL DENGAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik Radial

Jaringan sistem distribusi merupakan jaringan dengan tegangan menengah yaitu 6-20 kV dan tegangan rendah yaitu 380/220 V yang berguna menyalurkan energi listrik dari sistem transmisi ke pelanggan. Secara umum jaringan distribusi terbagi menjadi dua bentuk yakni *loop* dan *radial*. Pada tugas akhir ini akan hanya dibahas sistem distribusi radial.

Jaringan Distribusi radial dinamakan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial yaitu dari suatu titik yang merupakan sumber dan bentuk aliran listriknya bercabang – cabangkan menuju ke titik beban (pelanggan). Sehingga bentuk jaringan radial ini tampak seperti cabang pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil dan menuju beban. Jaringan distribusi radial merupakan bentuk paling sederhana dan banyak dioperasikan dalam sistem distribusi, Hal ini dikarenakan biaya investasi untuk membangun jaringan ini cukup murah dan sangat mudah dalam membangun jaringan distribusi ini.

Bentuk sistem jaringan distribusi radial contoh bentuk pohon dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2. 1 Sistem distribusi radial bentuk pohon

Sistem ini memiliki kualitas pelayanan daya yang relatif kurang baik. Hal itu disebabkan oleh nilai dari rugi daya dan drop tegangan yang cukup besar akibat besarnya nilai impedansi pada tiap saluran. Nilai impedansi ini dipengaruhi oleh jarak antara sumber dengan pelanggan, sehingga pelanggan yang jaraknya sangat jauh akan memiliki rugi-rugi daya dan drop tegangan yang besar. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk mengatasi rugi-rugi saluran dan drop tegangan pada saluran, agar kualitas performansi sistem tenaga listrik menjadi lebih baik.

2.2 Analisa aliran Daya

2.2.1 Definisi Analisa Aliran Daya

Analisis aliran daya atau secara umum disebut *loadflow* merupakan hal yang paling penting dan mendasar dalam studi dan analisis sistem tenaga. Tujuan dari analisis aliran daya adalah untuk mendapatkan data dan informasi mengenai kondisi dari sistem kelistrikan yang akan dianalisa. Data dan informasi yang didapatkan merupakan hasil penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif dan factor daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan sistem tenaga listrik. Data dan informasi yang didapatkan tersebut sangat dibutuhkan untuk menganalisis kinerja serta mengevaluasi kondisi sistem tenaga listrik tersebut. Selain itu analisis aliran daya juga sangat dibutuhkan dalam perencanaan maupun perancangan pengembangan sistem kedepan.

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam studi aliran daya dalam menganalisa sebuah sistem tenaga listrik seperti *Gauss-seidel*, *Newton Rapson*, *Fast Decouple* dan metode lainnya [3]. Pada Tugas Akhir ini digunakan metode studi analisa aliran daya *Topology Network*.

2.2.2 Metode Forward Backward Sweep

Untuk menganalisis aliran daya dengan menggunakan metode *forward backward sweep* jaringan distribusi radial ini sendiri diibaratkan sebagai pohon dimana bus pertama adalah sebagai akar atau *slack bus* dan bus lainnya diibaratkan sebagai ranting atau bus beban [3]. Dengan menggunakan metode *Forward Backward Sweep* analisa aliran daya untuk sistem distribusi terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi.

Metode *forward backward sweep* ini menggunakan prinsip kerja dari hukum kirchoff untuk melakukan perhitungan arus. Prinsip kerja dari metode *forward backward sweep* ini adalah pertama melakukan *backward sweep* dengan cara menghitung besarnya arus yang mengalir pada saluran mulai dari bus yang paling awal hingga bus paling akhir. Setelah itu, melakukan *forward sweep* dengan mengalikan nilai arus yang telah didapat sebelumnya dengan impedansi tiap-tiap saluran sehingga didapat besarnya drop tegangan (*drop voltage*) pada tiap-tiap bus.

Untuk menghitung arus cabang didapatkan dari hubungan daya kompleks dan tegangan pada tiap-tiap bus, seperti persamaan dibawah ini:

$$I_i^k = \text{conj} \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)$$

Dimana:

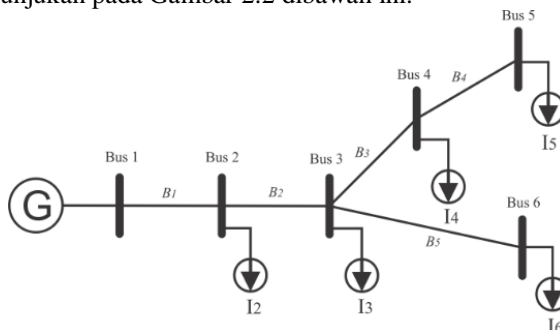
I_i^k = arus pada bus i saat iterasi ke-k

V_i^k = tegangan pada bus i saat iterasi ke-k

2.2.3 Analisa Aliran Daya *Topology Network*

Topology network merupakan salah satu metode analisis aliran daya listrik yang dalam penyelesaiannya menggunakan pemodelan bentuk topologi jaringan menjadi bentuk persamaan matematika, yang selanjutnya dihitung dan diiterasi sehingga diperoleh nilai arus, tegangan, rugi – rugi daya dan total daya pembangkitan yang diperlukan oleh sistem. Analisis aliran daya *topology network* sangat cocok diterapkan pada sistem tenaga dengan topologi jaringan radial [4].

Berikut ini Contoh *single line diagram* untuk sistem berbentuk radial di tunjukan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Contoh Single Line Diagram Sistem Radial

Metode ini diawali dengan melakukan perhitungan besar arus yang mengalir pada saluran, dengan membentuk matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Matriks BIBC adalah matrik yang menyatakan hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi. Maka untuk mendapatkan matriks BIBC, berdasarkan hukum arus Khirchoff didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$B_5 = I_6 \quad (1.1)$$

$$B_4 = I_5 \quad (1.2)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (1.3)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (1.4)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (1.5)$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungan selanjutnya dengan menggunakan matriks [4].

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Angka 1 menyatakan terdapat hubungan antara arus dengan saluran pada sistem distribusi, sedangkan angka 0 menyatakan tidak terdapat hubungan antara keduanya.

Matriks BIBC ini dapat disederhanakan kedalam bentuk persamaan sederhana menjadi

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3)$$

Tahap selanjutnya adalah membentuk matriks BVBC yang digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai drop tegangan pada tiap-tiap bus. Hubungan antara percabangan arus dan tegangan bus dapat ditentukan berdasarkan hukum kirchoff untuk tegangan. Sebagai contoh hubungan antara arus dan tegangan bus pada gambar 2.2 dapat dibentuk persamaan.

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (4.1)$$

$$V_3 = V_2 - B_2 \cdot Z_{23} \quad (4.2)$$

$$V_4 = V_3 - B_3 \cdot Z_{34} \quad (4.3)$$

$$V_5 = V_4 - B_4 \cdot Z_{45} \quad (4.4)$$

$$V_6 = V_3 - B_5 \cdot Z_{26} \quad (4.5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas, dapat diperoleh persamaan di bawah ini :

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (5.1)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (5.2)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (5.3)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (5.4)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (5.5)$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (6.1)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (6.2)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (6.3)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (6.4)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (6.5)$$

Dari Persamaan diatas dapat dinyatakan hubungan antar tegangan bus dan arus saluran menjadi bentuk matriks BCBV sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Matriks BCBV dapat disederhanakan menjadi:

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3) ke persamaan (8) maka pada akhir penurunan persamaan diperoleh nilai ΔV dapat ditulis dengan persamaan (9) dan disederhanakan menjadi persamaan (10) sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (9)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (10)$$

dimana, $[DLF] = [BCBV][BIBC]$,

$$[\Delta V^{k+1}] = [DLF][I^k] \quad (11)$$

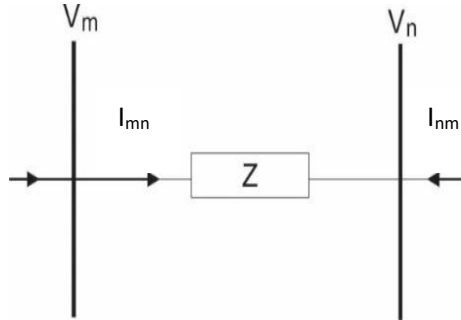
$$[V]^{k+1} = [V_1] - [\Delta V^{k+1}] \quad (12)$$

V_1 merupakan tegangan dari *Swing bus*, sehingga dari persamaan (12) diperoleh nilai deviasi tegangan pada setiap bus, yang selanjutnya akan diperbarui nilai dari persamaan (11) pada setiap iterasi, sehingga diperoleh tegangan yang valid setelah iterasi menjadi konvergen [4].

2.3 Rugi-rugi Daya Listrik dan Susut tegangan

Daya listrik yang disalurkan dari sumber menuju beban akan mengalami rugi-rugi daya pada saluran. Jika suatu pengantar dialiri arus listrik secara terus – menerus maka akan menimbulkan disipasi energi panas. Rugi-rugi daya di sebabkan oleh impedansi saluran yang juga nilainya dipengaruhi oleh panjang saluran atau jarak antara sumber dengan beban. Jarak sangat berpengaruh pada keandalan jaringan karena semakin jauh atau semakin panjang penghantar listrik tersebut maka rugi-rugi daya akan semakin besar, selain itu nilai tegangan listrik akan lebih rendah dibandingkan tegangan sumber akibat susut tegangan (*drop* tegangan) pada saluran.

Nilai dari rugi-rugi daya listrik dan susut tegangan dapat diidentifikasi setelah mengetahui nilai tegangan dan arus pada setiap bus dan saluran. Anggap sebuah saluran menghubungkan dua bus m dan bus n yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Arus saluran I_{mn} terukur pada bus m dan didefinisikan positif pada arah maju sedangkan I_{nm} didefinisikan negatif pada arah mundur [3].



Gambar 2. 3 Contoh gambar Saluran Sederhana

$m \gg n$ didefinisikan dengan

$$I_{mn} = I_l = Z_{mn}(V_m - V_n) \quad (13)$$

$n \gg m$ didefinisikan dengan

$$I_{nm} = -I_{mn} = -I_l = Z_{nm}(V_m - V_n) \quad (14)$$

Daya kompleks yang didapatkan untuk bus m ke n dan bus n ke bus m adalah

$$S_{mn} = V_m * I_{mn}^* \quad (15)$$

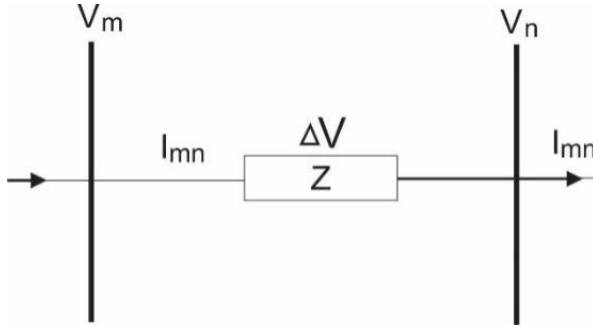
$$S_{nm} = V_n * I_{nm}^* \quad (16)$$

Rugi saluran dalam saluran m – n dapat dijabarkan dengan penjumlahan persamaan 15 dan 16 sebagai berikut

$$S_{lmn} = S_{mn} + S_{nm} \quad (17)$$

$$P_{lmn} = \text{real}(S_{lmn}) \quad (18)$$

Rugi tegangan merupakan salah satu bentuk rugi – rugi jaringan yang dapat dimodelkan pada persamaan dibawah ini. Sebuah rangkaian saluran sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Rangkaian saluran sederhana

Sesuai dengan Hukum Kirchoff untuk tegangan dapat ditulis persamaan 19.

$$V_m = V_n + \Delta V = V_n + Z * I_{mn} \quad (19)$$

2.4 Deviasi Tegangan

Deviasi tegangan merupakan salah satu jenis gangguan kualitas daya berupa terdapatnya selisih nilai atau *magnitude* tegangan yang dihasilkan dari bus sumber dengan bus pada saluran. Suatu sitem dikatakan memiliki kualitas baik jika deviasi tegangan memiliki nilai mendekati 0 (nol). Deviasi tegangan sendiri memiliki dua kondisi, yaitu kondisi tegangan dibawah (*undervoltage*) dan tegangan diatas (*overvoltage*) batas tegangan nominal bus tersebut. Deviasi tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$\Delta \text{Deviasi Tegangan} = \left(\frac{V_i - V^{spek}}{V_i^{max} - V_i^{min}} \right)^2 \quad (20)$$

Dimana V_i adalah tegangan bus ke- i dan V^{spek} adalah tegangan sumber, dan V_i^{max} dan V_i^{min} adalah batas atas dan batas bawah dari tegangan pada bus i , berturut – turut dengan batasan deviasi tegangan ($\pm 5\%$).

2.5 Distributed Generation (DG)

Distributed Generation (DG) atau yang juga disebut dengan pembangkitan tersebar merupakan sistem pembangkitan yang menggunakan generator dengan ukuran yang lebih kecil daripada sistem pembangkitan terpusat. Pembangkit-pembangkit ini tersebar pada seluruh sistem tenaga listrik yang dekat dengan beban [6]. Karena letaknya yang dekat dengan beban memungkinkan DG untuk membantu mensuplai daya pada beban yang jauh dari pembangkit utama (*utility grid*). Secara umum DG terbagi menjadi 4 kategori, yang terdiri sebagai berikut [7]:

1. DG 1 (T1)
DG 1 hanya mampu menyediakan suplai daya aktif, pada sistem. contoh DG: *solar cell, biogas*
2. DG 2 (T2)
DG 2 mampu menyediakan suplai daya aktif dan reaktif dengan batas *power factor* 0.80 – 0.99 leading. contoh DG 2: *wind turbine, tidal, geothermal*
3. DG 3 (T3)
DG 3 hanya mampu menyediakan suplai daya reaktif pada sistem. contoh DG 3: *synchronous condenser, bank capacitor*
4. DG 4 (T4)
DG 4 mampu menyediakan suplai daya reaktif dan menyerap daya aktif dari sistem. contoh DG 4: *doubly fed induction generators*.

Distributed Generation dibagi kedalam kategori untuk mengklasifikasikan Distributed Generation berdasarkan kapasitas pembangkitan dan teknologi pembangkitan. Untuk klasifikasi Pengkategorian kapasitas DG ini ditampilkan dalam Tabel 2.1. [8]

Tabel 2. 1 Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkit

<i>Micro distributed generator</i>	1 watt – 5 kW
<i>Small distributed generator</i>	5 kW – 5 MW
<i>Medium distributed generator</i>	5 MW – 50 MW
<i>Large distributed generator</i>	50 MW– 300 MW

Berdasarkan teknologi pembangkitan yang digunakan, DG dapat diklasifikasikan sebagaimana ditunjukkan Tabel 2.2 berikut [8]:

Tabel 2. 2 Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Combined cycle gas T.</i>	35–400 MW
<i>Internal combustion engines</i>	5 kW–10 MW
<i>Combustion turbine</i>	1–250 MW
<i>Micro-Turbines</i>	35 kW–1 MW
<i>Renewable</i>	
<i>Small hydro</i>	1–100 MW
<i>Micro hydro</i>	25 kW–1 MW
<i>Wind turbine</i>	200 Watt–3 MW
<i>Photovoltaic arrays</i>	20 Watt–100 kW
<i>Solar thermal, central receiver</i>	1–10 MW
<i>Solar thermal, Lutz system</i>	10–80 MW
<i>Biomass, e.g. based on gasification</i>	100 kW–20 MW
<i>Fuel cells, phosacid</i>	200 kW–2 MW
<i>Fuel cells, molten carbonate</i>	250 kW–2 MW
<i>Fuel cells, proton exchange</i>	1 kW–250 kW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW–5 MW
<i>Geothermal</i>	5–100 MW
<i>Ocean energy</i>	100 kW–1 MW
<i>Stirling engine</i>	2–10 kW
<i>Battery storage</i>	500 kW–5 MW

Banyak keuntungan yang didapatkan dengan pemasangan distributed generator. Jika dibandingkan dengan pembangkit konvensional, efisiensi pada *distributed generator* lebih besar. Karena pada *distributed generator* menggunakan teknologi yang baru dan masih banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan effisiensinya, seperti turbin angin, *fuell cell*, dsb [7].

Beberapa keuntungan lain dari *Distributed Generation* antara lain [6]:

1. Dari sudut pandang pengguna (*end-user*) dapat diuntungkan dengan mempunyai pembangkit cadangan untuk meningkatkan keandalan. Selain itu, pengguna juga bisa mendapatkan kompensasi karena dapat memberikan energi yang mereka bangkitkan ke sistem tenaga listrik.
2. Jika dilihat dari sudut pandang pengelola jaringan distribusi, *distributed generation* dapat menambah kapasitas jaringan transmisi dan distribusi yang telah terpasang. Selain itu *distributed generator* juga dapat melindungi jaringan dari pertumbuhan beban yang tidak pasti.
3. Dari sudut pandang produsen energi komersial, produsen energi dapat membeli kapasitas dari beberapa unit distributed generator.
4. Dari sudut pandang teknis, integrasi DG dengan sistem pada lokasi yang tepat dapat mengurangi rugi-rugi saluran dan memperbaiki profil tegangan, meningkatkan kualitas daya serta meningkatkan keandalan dan keamanan sistem
5. Dari sudut pandang ekonomi, integrasi DG dapat menghemat biaya karena teknologi DG seperti PV, dan turbin angin memiliki nilai operasi dan perawatan yang murah.
6. Dari sudut pandang lingkungan, teknologi DG tidak menimbulkan banyak emisi dan polusi seperti pembangkit konvensional yang menggunakan fosil sebagai bahan bakarnya.

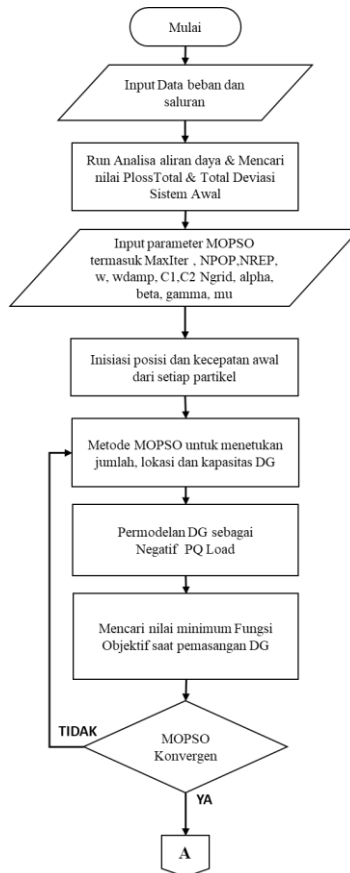
(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 3

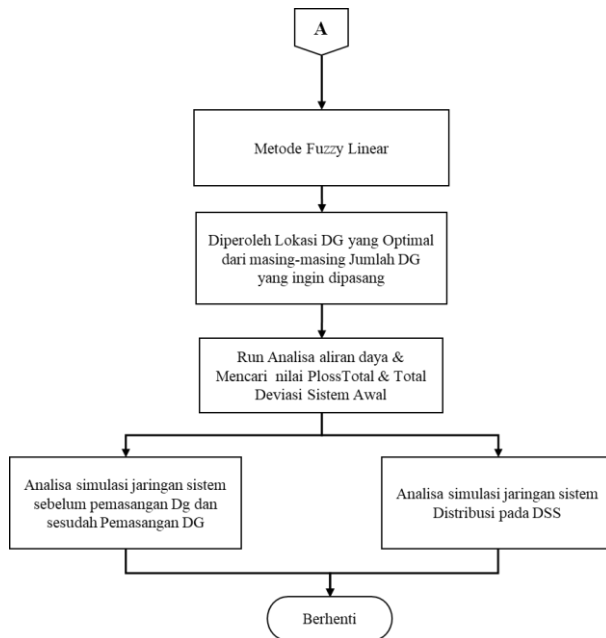
PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS DG OPTIMAL MENGGUNAKAN METODE MOPSO

3.1 Diagram Metode Optimisasi Lokasi dan kapasitas DG

Berikut diagram alur (*Flowchart*) pembuatan program optimisasi lokasi dan kapasitas *Distributed Generation* (DG) dengan menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) yang ditunjukkan pada gambar 3.1a dan 3.1b dibawah ini:



Gambar 3. 1 *Flowchart* Program Metode MOPSO

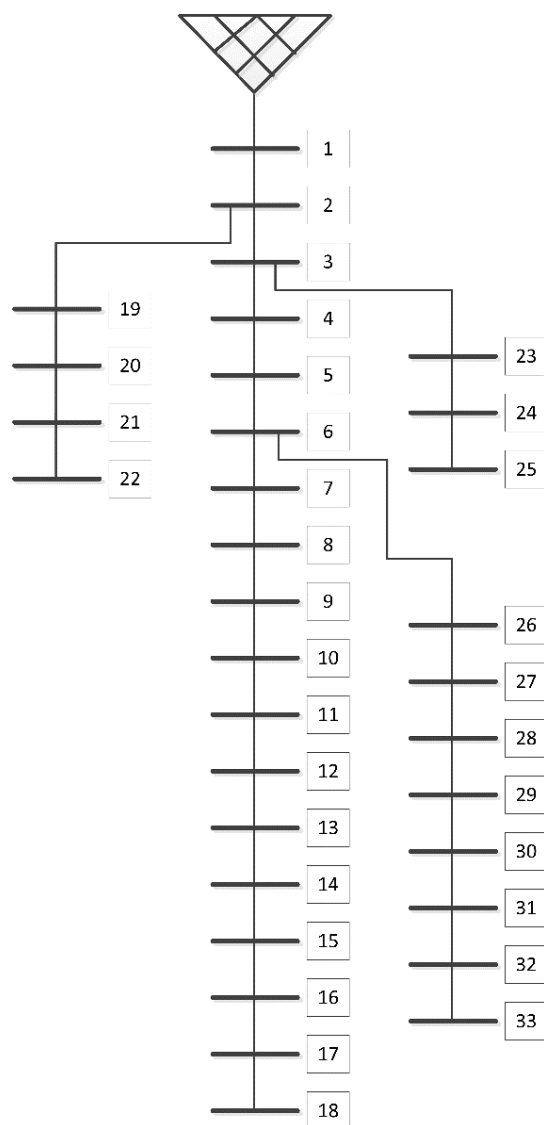


Gambar 3. 2 Flowchart Program Metode MOPSO

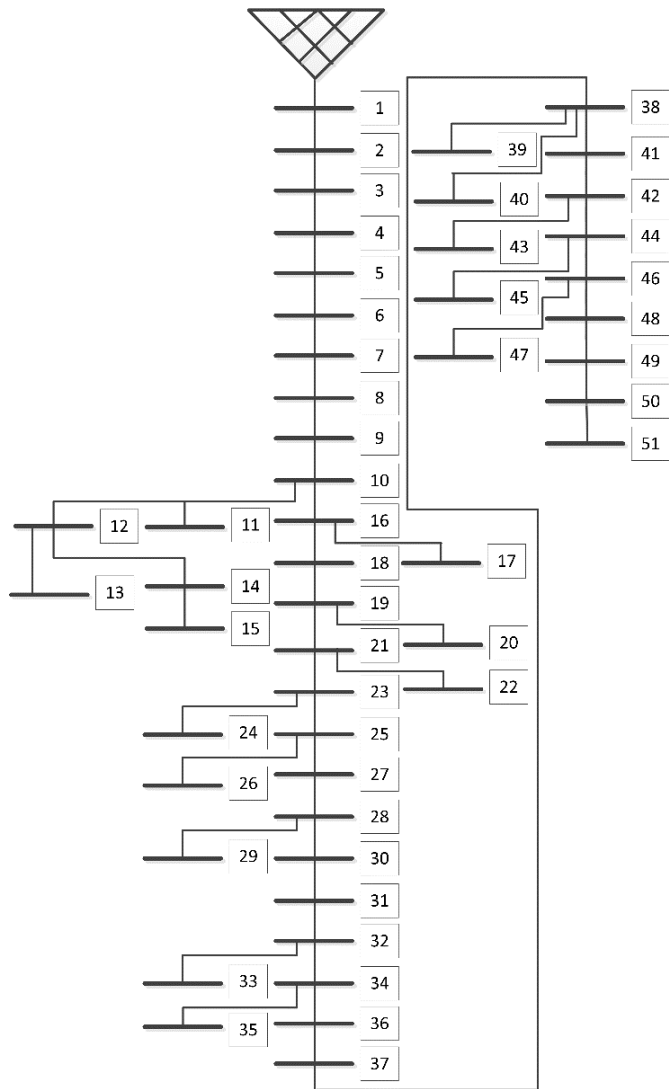
3.2 Data Beban dan Data Saluran

Pada tugas akhir ini digunakan sistem kelistrikan yang terdiri dari *Single Line Diagram* sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan Sistem Penyulang Basuki Rahmat Surabaya 51 Bus. Sistem jaring yang digunakan adalah jaring distribusi radial IEEE 33 bus dengan rating tegangan 12.66 kV, dan total beban sistem distribusi adalah 3.72 MW dan 2.3 MVAR, sistem ini berbentuk radial ditunjukan pada gambar Gambar 3.2.

Sistem Penyulang Basuki Rahmat Surabaya 51 Bus dengan rating tegangan 20 kV, dan total beban sistem distribusi adalah 9.385 MW dan 5.812 MVAR, sistem ini berbentuk radial ditunjukan pada gambar Gambar 3.3. data untuk kedua sistem kelistrikan yaitu Data beban pada masing-masing bus dan data impedansi saluran ditunjukan lampiran.



Gambar 3. 3 *Single Line Diagram* Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus



Gambar 3. 4 *Single Line Diagram* Jaringan Distribusi penyulang Basuki Rahmat Surabaya

Data saluran sistem digunakan dalam perhitungan aliran daya pada sistem, Data saluran berisi informasi nilai impedansi yang berlaku pada saluran sistem tersebut.

Sistem yang digunakan adalah sistem tiga fasa seimbang, dimana fasa dari R, S dan T mempunyai nilai impedansi dan nilai pembebanan yang sama, Sehingga pada penulisan tugas akhir ini hanya digunakan salah satu fasanya saja, Dengan mengetahui single line dari suatu sistem akan mempermudah dalam menganalisa aliran daya yang terjadi pada sistem.

Sistem kelistrikan IEEE 33 radial merupakan plant yang akan digunakan sebagai validasi hasil metode MOPSO pada tugas akhir ini. Jika validasi metode MOPSO ini telah selesai, maka akan dilakukan pengaplikasian pada aplikasi DSS.

3.3 Permodelan Optimisasi MOPSO

Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) merupakan pengembangan dari *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang dapat menangani permasalahan *multi objective*. MOPSO pertama kali diperkenalkan pada tahun 2004 oleh Carlos A. Coello [9]. MOPSO memiliki cara kerja yang sama dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan menambahkan beberapa metode lain untuk meningkatkan kinerjanya dalam mengatasi permasalahan *multi objective*.

MOPSO menggabungkan metode PSO dengan konsep *Pareto Envelope*, *Non dominated Sorting*, *External repository* dan *Mutation Operator*. Metode yang digunakan didalam MOPSO sama dengan Algoritma seleksi Berbasis Pareto (PAES) untuk menangani masalah optimasi multi obyektif. MOPSO sangat cocok dalam meminimalisir banyak fungsi obyektif secara bersamaan [9].

Konsep *Non dominated sorting* digunakan untuk menentukan solusi terbaik yang dihasilkan oleh metode MOPSO dengan cara menentukan dominansi antara solusi yang ada. Sebuah solusi a dikatakan dominan terhadap solusi b (dinotasikan $a < b$) jika dan hanya jika kondisi dibawah terpenuhi [9]

- Solusi a tidak lebih baik dari solusi b untuk semua fungsi objektif
- Solusi a sedikit lebih baik dari solusi b untuk beberapa fungsi objektif.

Dalam bentuk matematikanya dapat digambarkan sebagai berikut:

$$\forall i \in \{1,2, \dots, \text{Nobj}\}: f_i(a) \leq f_i(b) \quad (21)$$

$$\exists i \in \{1,2, \dots, \text{Nobj}\}: f_i(a) < f_i(b) \quad (22)$$

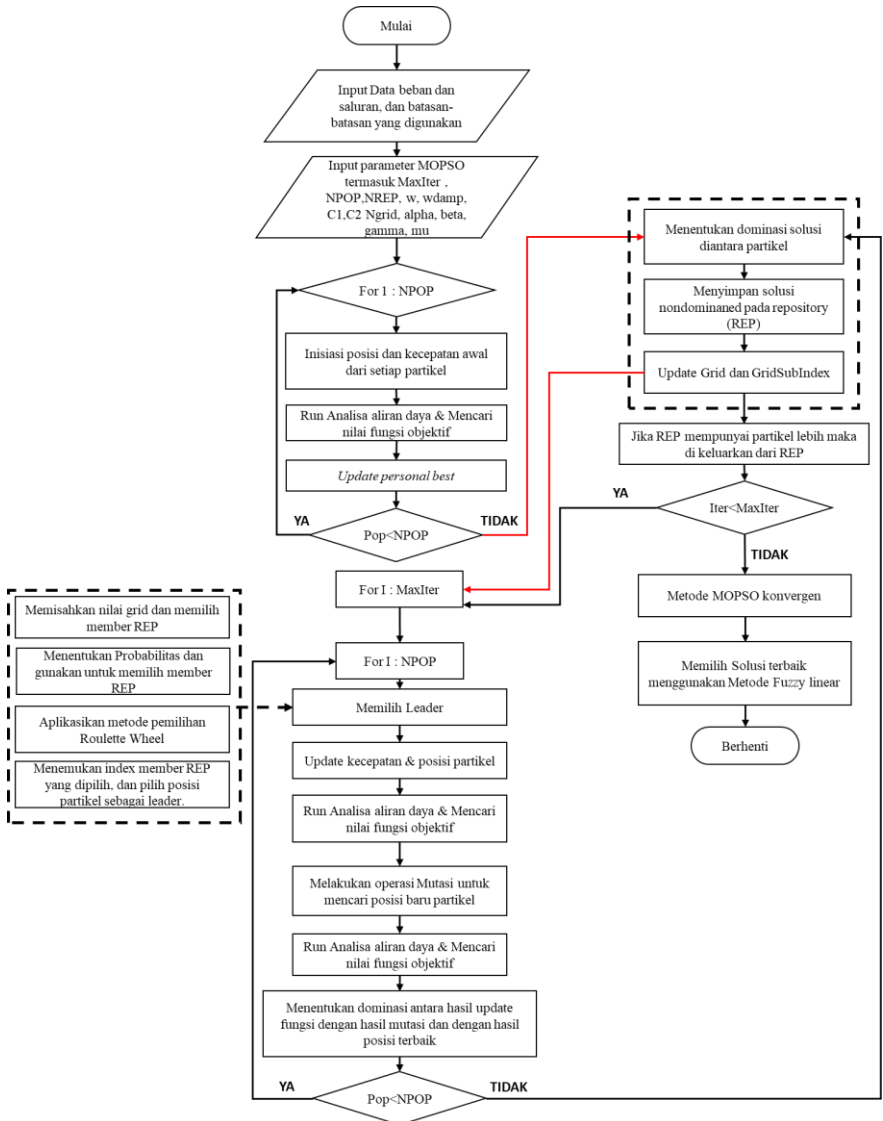
Metode MOPSO tidak hanya memiliki satu solusi global optimal akantetapi banyak solusi yang disebut solusi *pareto front optimal*, karena satu solusi tidak dapat dianggap lebih baik dari pada yang lainnya dengan memandang semua fungsi objektif [10]. Solusi yang digunakan adalah solusi *Non Dominated*, yaitu solusi yang tidak akan didominasi solusi lainnya. Solusi *Non Dominated* ini akan di simpan pada tempat penyimpanan eksternal (*Repository*) berupa *Pareto Front Solution* setiap proses iterasi. Sehingga nantinya *repository* berisi banyak solusi-solusi optimisasi yang dijadikan kandidat solusi terbaik untuk optimisasi.

Kita ketahui metode PSO memiliki waktu konvergensi yang cepat, akan tetapi hal ini dapat mengganggu optimisasi multi objektif karena algoritma PSO dapat konvergensi dengan menghasilkan Pareto Front yang salah. Dari hal tersebut Metode MOPSO juga mengembangkan metode operasi mutasi. Operasi mutasi digunakan untuk mempengaruhi kemampuan eksplorasi dari setiap partikel pada awal pencarian, lalu pengaruh dari operasi mutasi pada partikel menurun sejalan dengan meningkatnya iterasi [9]. Dengan meningkatnya kemampuan eksplorasi didapatkan setiap variable yang diharapkan.

3.3.1 Inputan Parameter MOPSO

Metode MOPSO memerlukan nilai-nilai parameter yang digunakan dalam menjalankan programnya yang terlebih dahulu didefinisikan yang diantaranya adalah Maksimum iterasi (Maxit=1500), Ukuran Populasi (NPop=50), Ukuran *Repository* (NRep=50), *weight of inertia* ($w=0.4$), *personal* dan *global learning coefficient* ($C1=1$ & $C2=1$), ukuran dimensi Grid (NGrid=30), *inflation rate* ($\alpha = 0.2$), *leader selection parameter* ($\beta = 1$), *deletion selection parameter* ($\gamma = 2$) and *mutation rate* ($um = 0.4$).

3.3.2 Permodelan MOPSO dalam Penempatan Optimal DG



Gambar 3. 5 Permodelan MOPSO dalam Peletakan Optimal DG

Permodelan *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) untuk peletakan optimal *Distributed Generation* (DG) dapat di jelaskan sesuai flowchart diatas dan dijelaskan lebih detail sebagai berikut [11]:

1. Inisiasi Seluruh posisi dan kecepatan Populasi
2. *Run Loadflow* dan mencari nilai fungsi objektif dari posisis inisiasi
3. *Update Personal Best*
4. Menentukan dominasi di antara partikel dan simpan partikel yang tidak didominasi (*Non Dominated*) ke dalam repositori (REP). Solusi baru yang dihasilkan ditambahkan ke repositori dan solusi yang dikuasai dihapus dari repositori
5. Mencari leader dari Repositori. Dalam memilih *leader* dari *repository front*, pertama member dari *repository front* dibagi ke dalam Grid lalu memilih lokasi dengan teknik *roulette wheel, cell Grid* yang kepadatannya rendah lebih besar kemungkinan dipilih. Dan 1 dari member Grid yang dipilih dipilih secara random sebagai leader.
6. Update Kecepatan setiap partikel dengan persamaan:

$$POP.Velocity = WxPOP.Velocity + C1.Randx(Pbest - POP) + C2.Randx(Leader - POP) \quad (23)$$
7. Update Posisi partikel dengan persamaan:

$$POP.Posisi = POP.Posisi + POP.Velocity \quad (24)$$
8. Update Posisi harus sesuai batasan yang telah ditentukan.
9. *Run Loadflow* dan mencari nilai fungsi objektif dari posisis baru
10. Melakukan Proses Mutasi
11. Menentukan dominasi antar partikel dan Menambahkan Solusi *Non-dominated* yang baru dari populasi ke dalam repositori
12. Mengecek ukuran repository, jika repository melebihi batasan maka mengeluarkan member *extra*.
13. Jika algoritma MOPSO sudah Konvergen maka operasi MOPSO berhenti.
14. Semua member repository yang tersisa akan diambil untuk menentukan solusi akhir.

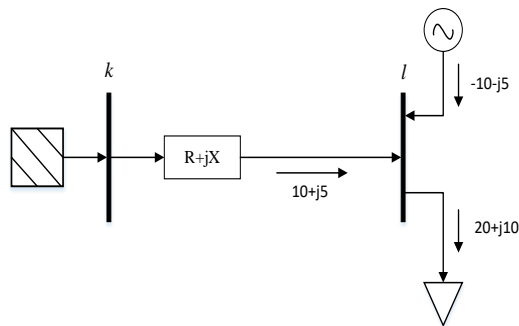
3.4 Pemodelan DG sebagai *Negative PQ Load*

Pada sistem distribusi radial, daya mengalir dari *infinite* bus menuju ke beban. Karena beban menyerap daya aktif dan daya reaktif yang disediakan oleh *infinite* bus, arah aliran arus beban searah dengan arah aliran daya tersebut.

Karakteristik beban dan generator (Pembangkit) berbeda, beban menyerap daya sedangkan generator menyuplai daya. Ketika generator dipasang pada sisi distribusi, arah aliran daya generator berlawanan dengan arah aliran daya beban. Arah aliran yang berbeda tersebut membuat generator atau DG dapat dimodelkan menjadi *negative PQ load*. Sehingga dalam perhitungan analisis aliran daya, DG dianggap sebagai beban negatif yang arah aliran dayanya berlawanan dengan beban.

Untuk lebih memahami konsep diatas, dapat dilihat melalui contoh pada gambar 3.5. Ketika pada bus l dipasang DG dengan kapasitas $10 + j5$, total beban yang terpasang pada bus l , mempertimbangkan adanya DG pada bus yang sama adalah $20 + j10 - 10 - j5 = 10 + j5$. Jika DG pada bus l diganti dengan beban yang mempunyai nilai yang sama, total beban yang terpasang adalah $20 + j10 + 10 + j5 = 30 + j15$.

Pada bus yang terpasang *distributed generator*, bus tersebut diindikasikan sebagai beban tetapi bertanda negatif. Beban yang memiliki tanda negatif tersebut akan berperan sebagai generator karena arah aliran dayanya yang berlawanan dengan beban.



Gambar 3. 6 *Distributed Generation* dimodelkan sebagai Negatif PQ load

3.5 Fungsi Objektif

Fungsi Objektif adalah fungsi yang nilainya akan dipotimalkan, Fungsi Objektif bisa bernilai minimum.

Dalam pemodelan sistem tugas akhir ini akan digunakan fungsi objektif untuk meminimalkan kerugian jaring dan nilai deviasi tegangan bus sistem sehingga tegangan tiap bus sistem berada pada nilai “optimal”

3.5.1 Rugi-rugi Daya Aktif

Minimisasi dari kerugian jaring adalah objektif pertama untuk minimasi kerugian jaring sistem [3].

$$I_{ij} = I_l = y_{ij}(V_i - V_j) \quad (25.1)$$

$$I_{ji} = -I_l = -(y_{ij}(V_i - V_j)) \quad (25.2)$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (25.3)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (25.4)$$

$$S_l = S_{ij} + S_{ji} \quad (25.5)$$

Kerugian daya aktif pada setiap saluran yang menghubungkan bus i ke bus j dapat dinyatakan sebagai berikut

$$P_{loss(i,j)} = \text{real}(S_l) \quad (26)$$

Dari persamaan 26, total kerugian daya aktif dapat dihitung dengan cara menjumlahkan kerugian daya aktif pada setiap saluran sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$\text{Min } F_1(x) = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (27)$$

Dimana n adalah jumlah cabang dari jaring distribusi, dan berarti (i,j) adalah 2 titik dari sebuah saluran bus_i dan bus_j .

3.5.2 Deviasi Tegangan

Minimisasi deviasi tegangan adalah objektif kedua untuk minimasi deviasi tegangan antara titik tegangan dan spesifikasi tegangan magnitude. Titik tegangan magnitude adalah indikator yang terpenting untuk evaluasi keamanan sistem dan kualitas daya [5].

$$\text{min } F_2(x) = \sum_{i=0}^n \left(\frac{V_i - V_i^{\text{spek}}}{V_i^{\text{max}} - V_i^{\text{min}}} \right)^2 \quad (28)$$

Dimana V_i^{spek} adalah spesifikasi tegangan magnitudo. V_i^{max} dan V_i^{min} adalah batas atas dan batas bawah dari tegangan pada titik i , berturut-turut dengan batasan deviasi tegangan ($\pm 5\%$).

3.6 Batasan (Constraint)

Batasan atau constrain adalah aturan yang berupa parameter nilai yang harus dilalui pada suatu proses sebagai fungsi seleksi, Batasan membuat proses seleksi menjadi lebih efektif karena adanya suatu kondisi yang harus dipenuhi, Batasan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

$$V_{min} < V_{bus} < V_{maks} \quad (29)$$

$$V_{min} = \frac{V_{base} - 5\% \times V_{base}}{V_{base}} \quad (30)$$

$$V_{max} = \frac{V_{base} + 5\% \times V_{base}}{V_{base}} \quad (31)$$

Batasan tersebut merupakan standar toleransi tegangan yang diperbolehkan pada bus sistem yang berlaku pada perusahaan besar kebanyakan, yaitu bernilai maksimum 1,05 p.u dan minimum 0,95 p.u.

Batasan yang diberikan pada penempatan DG adalah batasan daya keluaran DG [9].

$$P_{k,min}^{DG} \leq P_k^{DG} \leq P_{k,max}^{DG} \quad (32)$$

$$Q_{k,min}^{DG} \leq Q_k^{DG} \leq Q_{k,max}^{DG} \quad (33)$$

Dimana pada constraint, $P_{k,min}^{DG}$, $P_{k,max}^{DG}$, $Q_{k,min}^{DG}$, dan $Q_{k,max}^{DG}$ adalah batas atas atau bawah pada unit untuk daya aktif dan daya reaktif unit pembangkitan dari *distributed generation*. Pada tugas akhir ini dibuat batasan bawah untuk kapasitas daya DG adalah 0 MW dan 0 MVAR daya reaktif. Untuk batasan atas kapasitas DG yang digunakan adalah 50% dari total beban.

3.7 Metode Fuzzy Linear

Setelah dilakukan proses pencarian kumpulan solusi menggunakan metode MOPSO, dan didapatkan kumpulan Pareto Optimal Solution pada repository, maka dapat dilanjutkan ke proses penentuan solusi *non dominated* terbaik didalam *repository* dengan menggunakan metode fuzzy linear.

Metode fuzzy linear digunakan untuk menentukan nilai membership function dari masing-masing Pareto Optimal Solution pada masing-masing hasil fungsi objektif. Nilai membership function di simbolkan sebagai α_i^k , dengan formulasi dibawah ini [11]:

$$\alpha_i^k = \begin{cases} 1 & f_i \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i^k}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & f_i^{\min} < f_i < f_i^{\max} \\ 0 & f_i \geq f_i^{\max} \end{cases} \quad (34)$$

Dimana f_i^{\min} dan f_i^{\max} adalah nilai minimum dan maksimum fungsi objektif ke-i yang digunakan. Nilai membership function α_i^k untuk ke-i fungsi objektif dan ke-k repository memiliki nilai bervariasi antara 0 sampai 1, dimana jika $\alpha_i^k = 0$ maka solusi tidak kompatibel dan jika $\alpha_i^k = 1$ maka solusi sepenuhnya kompatibel.

Untuk setiap solusi pareto optimal k yang ada di repository dilakukan normalisasi nilai membership function α^k dengan perhitungan di bawah ini:

$$\alpha^k = \frac{\sum_{i=1}^{Nobj} \alpha_i^k}{\sum_{k=1}^{NRep} \sum_{i=1}^{Nobj} \alpha_i^k} \quad (35)$$

Selanjutnya dicari nilai maksimum dari membership function α^k . Nilai maksimum α^k menunjukan solusi terbaik dari hasil metode MOPSO.

3.8 Analisa Hasil Menggunakan DSS

Decision Support Systems (DSS) merupakan bagian dari sistem informasi berbasis komputer yang digunakan untuk membantu dalam mengambil suatu keputusan dengan cara menganalisis informasi untuk mengidentifikasi dan memecahkan berbagai masalah semi-terstruktur dan mengambil sebuah keputusan. Dalam pemrosesannya, DSS dapat menggunakan bantuan dari sistem lain seperti *Artificial Intelligence*, *Expert Systems*, *Fuzzy Logic*, dll.

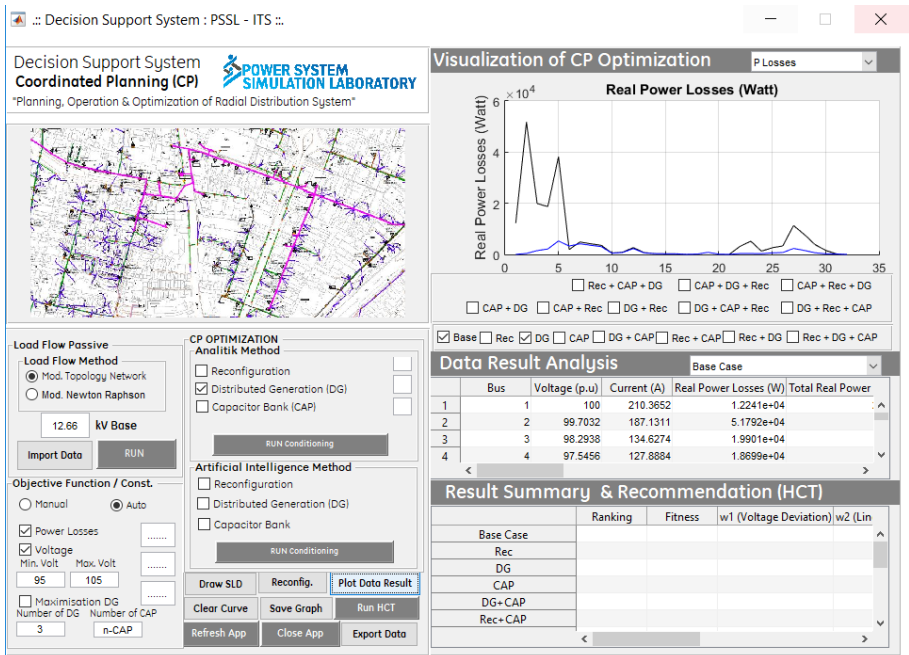
Decision Support Systems (DSS) mendapatkan peningkatan popularitas di berbagai domain kerja, termasuk bisnis, teknik, militer, dan obat-obatan. DSS dapat membantu kekurangan kognitif manusia dengan mengintegrasikan berbagai sumber informasi, menyediakan akses yang cerdas kedalam pengetahuan yang relevan, dan membantu proses pengambilan keputusan. DSS juga dapat membantu penentuan pilihan di antara alternatif yang terdefinisi dengan baik dan membangun pendekatan formal, seperti metode ekonomi rekayasa, riset operasi, statistik, dan teori keputusan. DSS dapat juga menggunakan metode kecerdasan buatan untuk mengatasi masalah heuristik yang sulit dipecahkan dengan teknik formal [12].

Aplikasi pengambilan keputusan *Decision Support Systems* (DSS) yang tepat dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keefektifan, serta memungkinkan dalam membuat pilihan optimal untuk proses teknologi dan parameternya, merencanakan operasi bisnis, logistik, atau investasi [13].

Dalam sistem Kelistrikan, DSS merupakan model pengembangan formulasi algoritma aliran daya optimal yang dapat diaplikasikan pada perencanaan, operasi dan optimasi dalam sistem distribusi radial [12]. Pada DSS ini dapat digunakan untuk menganalisa dan mengidentifikasi kualitas daya sistem distribusi baik sebelum maupun sesudah proses peningkatan performansi, sebagai contoh penambahan *Distributed Generation* (DG). Evaluasi yang dapat dilakukan bertujuan untuk meminimumkan rugi-rugi daya aktif saluran (*Ploss*), meminimumkan level deviasi tegangan dan memaksimumkan daya aktif keluaran DGs (PDGs).

Dengan mengaplikasikan aplikasi *Decision Support System* (DSS) akan mempermudah kita dalam menganalisa performa sistem ketenagalistrikan. Dengan hanya memasukan data saluran dan data beban sistem dan memilih metode pengoptimalisasi sistem yang diinginkan kita dapat mengakses hasil analisis sistem dengan mudah baik dengan tampilan data berupa tabel berisikan angka maupun grafik dari kinerja sistem ketagalistrikan. Pada tugas akhir ini DSS digunakan untuk menampilkan hasil perbaikan sistem yang nantinya hasil ini dapat digunakan sebagai bahan analisa dalam memperbaiki sistem ketenagalistrikan dan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

DSS yang digunakan adalah hasil dari pengembangan aplikasi *Decision Support System* (DSS) milik Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga ITS yang telah di tampilkan pada Sidang terbuka Bapak Suyanto yang berjudul “*Decision Support System* (DSS)-CP Berbasis *Advanced OPF HCT*: Simulasi Perencanaan Operasi dan Optimasi Jaringan Sistem Distribusi Radial.”. Tampilan dari DSS yang akan digunakan ditunjukkan pada gambar 3.7 berikut ini [12]:



Gambar 3. 7 Tampilan *Decision Support System* (DSS)

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Simulasi dan pembahasan dilakukan untuk memperoleh hasil yang diinginkan, dan dari hasil tersebut selanjutnya dianalisis guna memperoleh kesimpulan serta menjawab permasalahan yang telah dipaparkan dalam Bab sebelumnya. Analisis aliran daya merupakan bagian utama dalam topik penelitian ini, sehingga perlu dilakukan validasi untuk memperoleh hasil analisis aliran daya yang valid. Pada penelitian ini, digunakan analisis aliran daya *Topology Network* yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak MATLAB yang selanjutnya divalidasi dengan analisis aliran daya *Modified Newton Raphson* menggunakan perangkat lunak ETAP. Pada penjelasan Bab ini, Akan dibagi dalam beberapa point yang ditulis sebagai berikut:

1. Hasil Analisis Aliran Daya pada Kondisi Awal
2. Analisa Optimasi pemasangan 1 DG
3. Analisa Optimasi pemasangan 2 DG
4. Analisa Optimasi pemasangan 3 DG
5. Validasi Hasil
6. Hasil Analisis Perbandingan Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO)

4.1 Hasil Analisis Aliran Daya pada Kondisi Awal Sistem

4.1.1 Sistem Distribusi IEEE33 Bus

Analisis aliran daya pada kondisi awal sistem, dilakukan untuk memperoleh beberapa parameter seperti tegangan, arus, rugi – rugi daya, dan deviasi tegangan pada jaringan.

Dari hasil analisis yang di tunjukkan pada Tabel 4.1, menjelaskan bahwa pada pada sistem IEEE 33 bus dengan tegangan *base* 12.66 kV, terjadi *undervoltage* pada beberapa bus, jika ditinjau dari standar *undervoltage* ≤ 0.95 p.u. Khususnya pada bus 18, yang mengalami *undervoltage* terendah dengan nilai 0.9130718 pu serta ditandai dengan warna merah pada Tabel 4.1. Dan dari validasi hasil tegangan antara hasil aliran daya menggunakan metode *Topology Network* dan *Modified Newton Raphson* didapatkan *error* terbesar mencapai 0.0001049%.

Tabel 4. 1 Tegangan setiap bus sistem IEEE 33 bus

Bus	Tegangan (pu)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1	1	1	0.0000000
2	0.99703225	0.99703220	0.0000047
3	0.98293790	0.98293790	0.0000002
4	0.97545628	0.97545620	0.0000082
5	0.96805905	0.96805900	0.0000047
6	0.94965787	0.94965780	0.0000076
7	0.94617228	0.94617230	0.0000024
8	0.94131033	0.94131030	0.0000032
9	0.93504114	0.93504110	0.0000041
10	0.92922607	0.92922610	0.0000031
11	0.92836605	0.92836600	0.0000053
12	0.92686644	0.92686650	0.0000066
13	0.92075323	0.92075320	0.0000028
14	0.91848643	0.91848640	0.0000028
15	0.91707408	0.91707410	0.0000017
16	0.91570614	0.91570610	0.0000039
17	0.91367888	0.91367890	0.0000021
18	0.91307180	0.91307170	0.0000111
19	0.99650388	0.99650390	0.0000017
20	0.99292629	0.99292630	0.0000013
21	0.99222178	0.99222180	0.0000016
22	0.99158437	0.99158440	0.0000035
23	0.97935218	0.97935220	0.0000024
24	0.97268102	0.97268100	0.0000021
25	0.96935603	0.96935600	0.0000033
26	0.94772861	0.94772860	0.0000007
27	0.94516486	0.94516490	0.0000040
28	0.93372529	0.93372530	0.0000014
29	0.92550719	0.92550710	0.0000097
30	0.92194977	0.92194980	0.0000031
31	0.91778861	0.91778850	0.0000116
32	0.91687410	0.91687320	0.0000987
33	0.91659046	0.91658950	0.0001049

Berikut merupakan nilai arus pada setiap saluran pada sistem IEEE 33 bus yang di dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Arus setiap saluran sistem IEEE 33 bus

Saluran	Arus (A)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1-2	210.36522557	210.36530000	0.00003538
2-3	187.13113749	187.13120000	0.00003340
3-4	134.62735191	134.62740000	0.00003572
4-5	127.88844338	127.88850000	0.00004428
5-6	124.76945563	124.76950000	0.00003557
6-7	58.38796899	58.38797000	0.00000173
7-8	47.61267298	47.61268000	0.00001475
8-9	36.78286412	36.78287000	0.00001599
9-10	33.71930507	33.71931000	0.00001462
10-11	30.64039312	30.64040000	0.00002246
11-12	28.00923555	28.00924000	0.00001590
12-13	24.60562218	24.60563000	0.00003180
13-14	21.18462259	21.18463000	0.00003497
14-15	14.18968566	14.18969000	0.00003062
15-16	11.21256663	11.21257000	0.00003004
16-17	8.06689878	8.06690100	0.00002754
17-18	4.91911195	4.91911200	0.00000100
2-19	18.08709047	18.08709000	0.00000259
19-20	13.57983402	13.57983000	0.00002960
20-21	9.05633407	9.05633400	0.00000076
21-22	4.52962206	4.52962200	0.00000123
3-23	48.48188600	48.48187000	0.00003300
23-24	43.69561334	43.69562000	0.00001523
24-25	21.88521419	21.88522000	0.00002653
6-26	65.35106327	65.35110000	0.00005620
26-27	62.48612482	62.48617000	0.00007230
27-28	59.64126143	59.64130000	0.00006467
28-29	56.98109934	56.98114000	0.00007136
29-30	50.58389039	50.58393000	0.00007831
30-31	23.34881720	23.34883000	0.00005480
31-32	15.12852976	15.12855000	0.00013381
32-33	3.58783123	3.58783400	0.00007732

Jika dilihat dari hasil analisis pada Tabel 4.2, menunjukkan nilai arus pada setiap saluran pada sistem IEEE 33 bus. Pada saluran 1-2 mempunyai nilai arus yang besar, karena merupakan akumulasi arus dari semua saluran, dan ini merupakan salah satu ciri dari sistem radial. Dan dari validasi hasil arus antara hasil analisis aliran daya menggunakan metode *Network Topology* dan *Modified Newton Raphson* didapatkan *error* paling besar mencapai 0.00013381%.

Berikut nilai rugi daya pada jaringan sistem IEEE 33 bus yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4

Tabel 4. 3 Rugi daya aktif pada jaringan sistem IEEE 33 bus

Saluran	Rugi Daya Aktif pada Saluran (kW)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1-2	12.240526	12.240530	0.00003366
2-3	51.791715	51.791730	0.00002971
3-4	19.900727	19.900740	0.00006422
4-5	18.699190	18.699200	0.00005081
5-6	38.249144	38.249170	0.00006874
6-7	1.914581	1.914582	0.00003111
7-8	4.858563	4.858564	0.00002311
8-9	4.180705	4.180707	0.00003836
9-10	3.561057	3.561059	0.00004253
10-11	0.553724	0.553724	0.00003421
11-12	0.881170	0.881170	0.00004491
12-13	2.666343	2.666344	0.00003847
13-14	0.729191	0.729192	0.00005169
14-15	0.356989	0.356989	0.00007050
15-16	0.281478	0.281479	0.00010545
16-17	0.251644	0.251645	0.00005256
17-18	0.053138	0.053138	0.00000642
2-19	0.160954	0.160954	0.00001363
19-20	0.832177	0.832177	0.00001155
20-21	0.100758	0.100758	0.00001384
21-22	0.043635	0.043635	0.00000885
3-23	3.181628	3.181626	0.00005312
23-24	5.143672	5.143673	0.00001848
24-25	1.287451	1.287452	0.00004120
6-26	2.600894	2.600897	0.00012552
26-27	3.328990	3.328995	0.00014518

Tabel 4. 4 Rugi daya aktif pada jaringan sistem IEEE 33 bus (lanjutan)

Saluran	Rugi Daya Aktif pada Saluran (kW)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
27-28	11.300843	11.300860	0.00014720
28-29	7.833340	7.833351	0.00014181
29-30	3.895666	3.895673	0.00017009
30-31	1.593633	1.593635	0.00012874
31-32	0.212851	0.213195	0.16128707
32-33	0.013169	0.013169	0.00014306
TOTAL	202.699548	202.700012	0.000228853

Jika dilihat dari hasil analisis pada Tabel 4.4 menunjukkan rugi daya aktif pada setiap saluran dengan total rugi daya mencapai 202.699548 KW. Sehingga perlu dilakukan *conditioning* untuk dapat meningkatkan efisiensi operasi sistem. Dan dari validasi hasil rugi daya pada jaringan antara hasil aliran daya menggunakan metode *Network Topology* dan *Modified Newton Raphson* didapatkan *error* paling besar mencapai 0.16128707%

Jika dilihat pada table 4.5 dan table 4.6 menunjukkan nilai deviasi tegangan pada masing-masing bus sistem IEEE 33 Bus. Terlihat nilai deviasi terbesar terjadi pada bus 18 dimana memiliki nilai 0.755651171. Hal ini dikarenakan jarak bus 18 dengan titik sumber sangat jauh sehingga nilai drop tegangan pada saluran sangat besar. Sehingga perlu dilakukan *conditioning* untuk dapat meningkatkan efisiensi operasi sistem. Dan dari validasi hasil nilai deviasi tegangan pada jaringan antara hasil aliran daya menggunakan metode *Topology Network* dan *Modified Newton Raphson* didapatkan *error* paling besar mencapai 0.00315944%.

Tabel 4. 5 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan sistem IEEE 33 bus

Bus	Nilai Deviasi Tegangan		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1	0	0	0.00000000
2	0.000880756	0.000880784	0.00315944
3	0.029111519	0.029111526	0.00002312
4	0.060239417	0.060239812	0.00065482

Tabel 4. 6 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan sistem IEEE 33 bus (Lanjutan)

Bus	Nilai Deviasi Tegangan		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
5	0.102022456	0.102022748	0.00028632
6	0.25343298	0.25343371	0.00028791
7	0.289742375	0.289742129	0.00008493
8	0.344447735	0.344448089	0.00010257
9	0.42196537	0.421965869	0.00011818
10	0.500894895	0.500894492	0.00008042
11	0.513142295	0.513142996	0.00013646
12	0.534851783	0.534850882	0.00016839
13	0.628005118	0.628005531	0.00006581
14	0.664446284	0.664446698	0.00006239
15	0.687670754	0.687670489	0.00003857
16	0.710545553	0.710546158	0.00008510
17	0.745133565	0.745133231	0.00004494
18	0.755651171	0.755652934	0.00023337
19	0.001222283	0.001222272	0.00097793
20	0.005003741	0.005003723	0.00035904
21	0.006050065	0.00605004	0.00041597
22	0.007082291	0.007082232	0.00082871
23	0.042633263	0.042633164	0.00023089
24	0.074632666	0.074632776	0.00014812
25	0.093905278	0.093905474	0.00020850
26	0.273229857	0.273229926	0.00002500
27	0.30068923	0.300688819	0.00013667
28	0.439233764	0.439233586	0.00004060
29	0.554917874	0.554919215	0.00024174
30	0.609183815	0.609183372	0.00007278
31	0.67587132	0.675873073	0.00025947
32	0.690991444	0.691006488	0.00217710
33	0.695715112	0.695731151	0.00230540

4.1.2 Sistem Penyulang Basuki Rahmat (Surabaya)

Analisis pada tugas akhir ini, diterapkan juga pada Penyulang Basuki Rahmat (Surabaya). Berikut hasil analisis aliran daya awal pada sistem Penyulang Basuki Rahmat (Surabaya) yang terdiri atas nilai tegangan, arus dan rugi daya listrik pada jaringan. Berikut hasil analisis yang ditunjukkan pada table Tabel 4.7 sampai Tabel 4.14.

Analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan tabel 4.8, menjelaskan bahwa pada pada sistem penyulang Basuki Rahmat (Surabaya) dengan tegangan base 20 kV mempunyai profil tegangan yang normal, karena masuk dalam standarisasi tegangan $1.05 > \text{tegangan} > 0.95$ dalam p.u. Hal ini terjadi karena jarak antar bus terhitung pendek, sehingga mempunyai nilai impedansi yang kecil. Sehingga nilai *drop* tegangan pada jaringan rendah. Dan profil tegangan paling rendah pada sistem tersebut adalah bus 51 dengan tegangan 0.996845133 (p.u) yang ditunjukkan dengan warna jingga pada Tabel 4.9. Hal ini terjadi karena bus 51 merupakan bus dengan jarak terjauh dari sumber (gardu induk). Serta dari hasil validasi dengan analisis aliran daya *Modified Newton Raphson* diperoleh *error* paling besar dengan nilai 0.0022279%.

Tabel 4. 7 Tegangan setiap bus sistem penyulang Basuki Rahmat

Bus	Tegangan (p.u)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1	1	1	0.0000000
2	0.999338393	0.9993392	0.0000807
3	0.999276706	0.9992776	0.0000895
4	0.999236447	0.9992374	0.0000954
5	0.99915369	0.9991548	0.0001111
6	0.998913279	0.9989147	0.0001423
7	0.998608419	0.9986104	0.0001984
8	0.99819377	0.9981964	0.0002635
9	0.998123022	0.9981256	0.0002582
10	0.997939231	0.997942	0.0002774
11	0.997938485	0.9979413	0.0002821
12	0.997911953	0.9979148	0.0002853
13	0.997908792	0.9979117	0.0002914
14	0.997899611	0.9979025	0.0002895
15	0.997877459	0.9978803	0.0002847
16	0.99782689	0.9978299	0.0003016
17	0.997825641	0.9978287	0.0003066

Tabel 4. 8 Tegangan setiap bus sistem penyulang Basuki Rahmat (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
18	0.997712742	0.9977716	0.0003266
19	0.997492023	0.9974955	0.0003485
20	0.997486893	0.9974904	0.0003515
21	0.997401146	0.9974047	0.0003563
22	0.997400175	0.9974038	0.0003634
23	0.997334475	0.9973382	0.0003735
24	0.99732459	0.9973283	0.0003720
25	0.997218136	0.9972221	0.0003975
26	0.997185578	0.9971896	0.0004033
27	0.99718519	0.9971892	0.0004022
28	0.997151521	0.9971556	0.0004090
30	0.99711211	0.9971163	0.0004202
31	0.997030378	0.9970521	0.0021786
32	0.997014405	0.9970361	0.0021760
33	0.997012675	0.9970344	0.0021789
34	0.996988693	0.9970104	0.0021772
35	0.996987997	0.9970097	0.0021768
36	0.996954756	0.9969768	0.0022111
37	0.996947939	0.99697	0.0022128
38	0.996925251	0.9969473	0.0022116
39	0.996921858	0.9969439	0.0022110
40	0.996922403	0.9969444	0.0022064
41	0.996906627	0.9969287	0.0022141
42	0.99687861	0.9969007	0.0022158
43	0.996877887	0.9969	0.0022182
44	0.996867921	0.99689	0.0022148
45	0.996865408	0.9968875	0.0022161
46	0.996866437	0.9968886	0.0022232
47	0.996866247	0.9968884	0.0022223
48	0.99685784	0.99688	0.0022229
49	0.996849359	0.9968715	0.0022210
50	0.996846191	0.9968684	0.0022279
51	0.996845133	0.9968673	0.0022236

Jika dilihat dari hasil analisis pada Tabel 4.9 dan table 4.10, menunjukkan nilai arus pada setiap saluran pada sistem penyulang Basuki Rahmat (Surabaya). Pada saluran satu mempunyai nilai arus yang besar, karena hanya menggunkan satu sumber daya listrik, yang merupakan akumulasi arus dari semua saluran. Dan dari validasi hasil arus antara program MATLAB dan ETAP didadapatkan *error* paling besar mencapai 0.2937796%.

Tabel 4. 9 Arus setiap saluran sistem penyulang Basuki Rahmat

Saluran	Arus (A)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1-2	319.4824436	319.0388	0.1390563
2-3	313.7105404	313.2631	0.1428322
3-4	309.0927329	308.6466	0.1445449
4-5	301.8534311	301.4264	0.1416701
5-6	297.2350551	296.8017	0.1460083
6-7	294.3402692	293.9082	0.1470082
7-8	288.5641472	288.1383	0.1477927
8-9	287.135617	286.7108	0.1481692
9-10	279.8882393	279.4858	0.1439928
10-11	2.897628164	2.895241	0.0824513
10-12	38.93493681	38.88551	0.1271086
12-13	38.93493681	38.88551	0.1271086
13-14	36.75170311	36.7041	0.1296943
14-15	32.12752499	32.08381	0.1362525
10-16	238.0556917	237.7051	0.1474902
16-17	2.897955857	2.895437	0.0869940
16-18	235.1577506	234.8097	0.1482267
18-19	232.2594818	231.914	0.1489698
19-20	14.46415877	14.45556	0.0594842
19-21	217.7953233	217.4585	0.1548908
21-22	5.7831226	5.774085	0.1565200
21-23	212.012204	211.6844	0.1548550
23-24	19.97700896	19.95063	0.1322212
23-25	192.0351982	191.7338	0.1571962
25-26	63.10290443	63.0377	0.1034372
25-27	128.9322959	128.6961	0.1835300
27-28	124.5779049	124.3589	0.1761072

Tabel 4. 10 Arus setiap saluran sistem penyulang Basuki Rahmat (Lanjutan)

Saluran	Arus (A)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
28-29	32.15104436	32.09791	0.1655384
28-30	92.4268638	92.26097	0.1798093
30-31	90.11294758	89.94972	0.1814654
31-32	87.92779455	87.76719	0.1829893
32-33	80.67234665	80.53742	0.1675329
32-34	2.900390645	2.896868	0.1216018
34-35	77.7719734	77.64057	0.1692458
34-36	19.98455635	19.95494	0.1484161
36-37	57.78741748	57.68563	0.1764521
36-38	11.88482497	11.85747	0.2306982
38-39	4.355543095	4.337838	0.4081548
38-40	41.54705238	41.49031	0.1367606
38-41	36.91826578	36.86731	0.1382140
41-42	5.786152518	5.775841	0.1785284
42-43	31.13211655	31.09148	0.1307000
42-44	9.98842602	9.97797	0.1047911
44-45	21.14370446	21.11352	0.1429627
44-46	4.628976065	4.623124	0.1265825
46-47	16.51472917	16.4904	0.1475354
46-48	11.88571546	11.86292	0.1921573
48-49	7.25666415	7.235408	0.2937796
49-50	2.900806316	2.897117	0.1273444

Jika dilihat dari hasil analisis pada Tabel 4.11 dan table 4.12 menunjukkan bahwa rugi daya aktif setiap saluran pada penyulang Basuki Rahmat (Surabaya) dengan total rugi daya mencapai 25.4029883 kW.

Jika dilihat nilai rugi-rugi dayanya lebih rendah dibandingkan dengan sistem IEEE 33bus. Hal ini terjadi, karena menggunakan jaringan distribusi radial Basuki Rahmat jarak antara sumber dan titik beban yang terhitung pendek, sehingga rugi daya listrik pada jaringan kecil.

Berikut nilai rugi daya pada jaringan sistem penyalang Basuki Rahmat (Surabaya) yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan table 4.12.

Tabel 4. 11 Rugi daya aktif pada jaringan penyalang Basuki Rahmat

Saluran	Rugi daya aktif pada jaringan (kW)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1-2	6.57610358	6.559077	0.2595881
2-3	0.602000293	0.6005785	0.2367372
3-4	0.387216801	0.385814	0.3635952
4-5	0.7771240	0.7741092	0.3894602
5-6	2.2232061	2.2172570	0.2683105
6-7	2.7916781	2.7832290	0.3035712
7-8	3.7226359	3.7111590	0.3092525
8-9	0.6319552	0.6313198	0.1006465
9-10	1.6004336	1.5958350	0.2881641
10-11	0.0000673	0.0000671	0.2775570
10-12	0.0330442	0.0329785	0.1992417
12-13	0.0038292	0.0038104	0.4931027
13-14	0.0104989	0.0104677	0.2983028
14-15	0.0221433	0.0220800	0.2867377
10-16	0.8320365	0.8289093	0.3772623
16-17	0.0001127	0.0001124	0.2412752
16-18	0.8351280	0.8319958	0.3764718
18-19	1.5948682	1.5909340	0.2472864
19-20	0.0023084	0.0023070	0.0645432
19-21	0.6157512	0.6142735	0.2405566
21-22	0.0001747	0.0001740	0.3709367
21-23	0.4397378	0.4382446	0.3407173
23-24	0.0061431	0.0061256	0.2841839
23-25	0.6951043	0.6925930	0.3625975
25-26	0.0639227	0.0637787	0.2257172
25-27	0.1321571	0.1316733	0.3674386
27-28	0.1305048	0.1299071	0.4600779
28-29	0.0040376	0.0040181	0.4856997
28-30	0.1133278	0.1128703	0.4053253
30-31	0.2291398	0.2284076	0.3205882
31-32	0.0436973	0.0434454	0.5798568
32-33	0.0003904	0.0003873	0.7931728

Tabel 4. 12 Rugi daya aktif pada jaringan penyulang Basuki Rahmat (lanjutan)

Saluran	Rugi daya aktif pada jaringan (kW)		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
32-34	0.0645271	0.0644087	0.1837682
34-35	0.0000628	0.0000627	0.2031191
34-36	0.0821081	0.0819213	0.2280407
36-37	0.0042378	0.0042289	0.2120094
36-38	0.0530461	0.0529093	0.2585565
38-39	0.0012547	0.0012485	0.4958202
38-40	0.0003859	0.0003827	0.8179743
38-41	0.0240747	0.0240142	0.2520990
41-42	0.0321794	0.0320907	0.2766118
42-43	0.0001303	0.0001301	0.1257994
42-44	0.0103541	0.0103242	0.2896736
44-45	0.0007809	0.0007796	0.1713234
44-46	0.0009764	0.0009763	0.0114339
46-47	0.0000274	0.0000276	0.6792444
46-48	0.0044167	0.0044053	0.2581496
48-49	0.0031362	0.0031242	0.3847781
49-50	0.0007153	0.0007115	0.5440182
50-51	0.0000954	0.0000952	0.2813877
TOTAL	25.4029883	25.3297801	0.2890200

Selain itu jika dilihat pada table 4.13 berikut terlihat nilai deviasi tegangan pada sistem distribusi Basuki Rahmat memiliki nilai yang rendah hal ini dikarenakan nilai drop tegangan pada sistem Basuki rahmat kecil

Jika dilihat pada table 4.14 menunjukan nilai deviasi tegangan pada masing-masing bus sistem Basuki Rahmat, Terlihat nilai deviasi terbesar terjadi pada bus 51 dimana memiliki nilai 0.0009953. Hal ini dikarenakan jarak bus 51 dengan titik sumber sangat jauh sehingga nilai drop tegangan pada saluran sangat besar. Sehingga perlu dilakukan *conditioning* untuk dapat meningkatkan efisiensi operasi sistem. Dan dari validasi hasil nilai deviasi tegangan pada jaringan antara hasil aliran daya menggunakan metode *Network Topology* dan *Modified Newton Raphson* didapatkan *error* paling besar mencapai 1.4791304%.

Tabel 4. 13 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan jaringan penyalang
Basuki Rahmat

Bus	Nilai Deviasi Tegangan		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
1	0.0000000	0.0000000	0.0000000
2	0.0000438	0.0000437	0.2443546
3	0.0000523	0.0000522	0.2476448
4	0.0000583	0.0000582	0.2501221
5	0.0000716	0.0000714	0.2629201
6	0.0001181	0.0001178	0.2620885
7	0.0001936	0.0001931	0.2853129
8	0.0003262	0.0003253	0.2918601
9	0.0003523	0.0003513	0.2752184
10	0.0004247	0.0004235	0.2692501
11	0.0004250	0.0004238	0.2736890
12	0.0004360	0.0004348	0.2732309
13	0.0004373	0.0004361	0.2786789
14	0.0004412	0.0004400	0.2756464
15	0.0004505	0.0004493	0.2682052
16	0.0004722	0.0004709	0.2775810
17	0.0004728	0.0004715	0.2820055
18	0.0005232	0.0005217	0.2855080
19	0.0006290	0.0006273	0.2778251
20	0.0006316	0.0006298	0.2796470
21	0.0006754	0.0006736	0.2740782
22	0.0006759	0.0006740	0.2794466
23	0.0007105	0.0007085	0.2801145
24	0.0007158	0.0007138	0.2779389
25	0.0007739	0.0007717	0.2856194
26	0.0007921	0.0007898	0.2864041
27	0.0007923	0.0007901	0.2855620
28	0.0008114	0.0008091	0.2870028
29	0.0008137	0.0008113	0.2891534
30	0.0008340	0.0008316	0.2907961
31	0.0008819	0.0008690	1.4791304
32	0.0008914	0.0008785	1.4693402
33	0.0008924	0.0008795	1.4704912
34	0.0009068	0.0008938	1.4574578

Tabel 4. 14 Nilai Deviasi Tegangan pada jaringan jaringan penyalang Basuki Rahmat (Lanjutan)

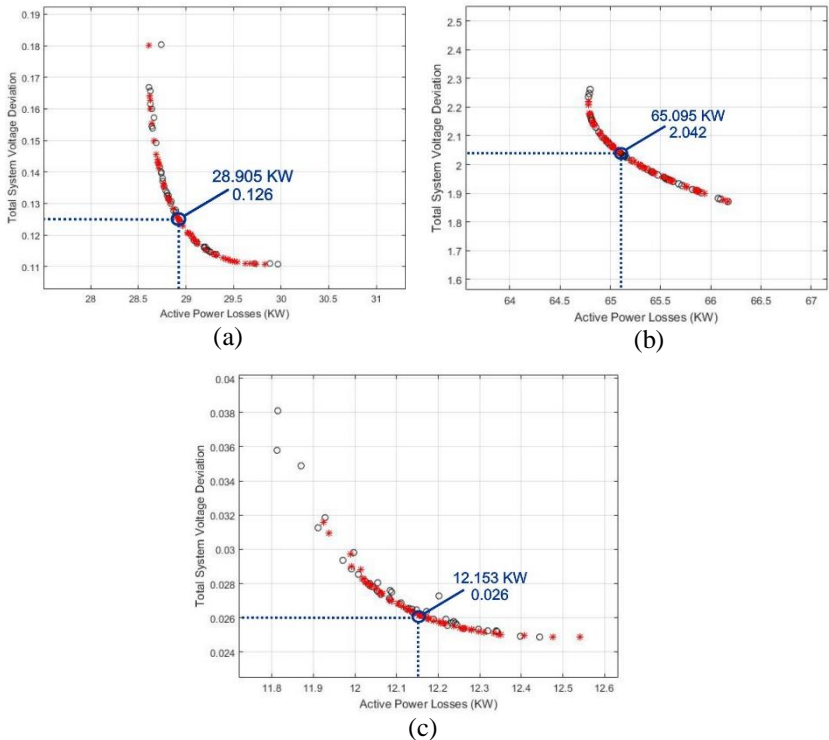
Bus	Nilai Deviasi Tegangan		
	Topology Network	Modified Newton Raphson	Error (%)
35	0.0009072	0.0008942	1.4568350
36	0.0009274	0.0009140	1.4636618
37	0.0009315	0.0009181	1.4614767
38	0.0009454	0.0009319	1.4497593
39	0.0009475	0.0009340	1.4477226
40	0.0009472	0.0009337	1.4449430
41	0.0009569	0.0009433	1.4425471
42	0.0009743	0.0009606	1.4305488
43	0.0009748	0.0009610	1.4317571
44	0.0009810	0.0009672	1.4249087
45	0.0009826	0.0009688	1.4245848
46	0.0009819	0.0009681	1.4297245
47	0.0009820	0.0009682	1.4289957
48	0.0009873	0.0009734	1.4255375
49	0.0009927	0.0009788	1.4204429
50	0.0009947	0.0009807	1.4234230
51	0.0009953	0.0009814	1.4201797

4.2 Analisa Optimasi pemasangan *Distributed Generation* (DG)

Analisa optimasi menggunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) pada sistem dibutuhkan untuk mendapatkan lokasi dan kapasitas yang optimal untuk pemasangan *Distributed Generation* (DG). *Distributed Generation* (DG) yang dipasang adalah DG tipe 3 yang dapat mensuplai daya aktif dan reaktif [5], dimana dapat memperbaiki sistem kelistrikan menjadi lebih baik, dan sehingga sistem distribusi memiliki nilai rugi saluran yang minimum dan nilai deviasi minimum dan berada pada standar $\pm 5\%$.

4.2.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

Berikut hasil simulasi dan analisis penentuan lokasi serta kapasitas optimal menggunakan metode MOPSO pada tugas ini. Dengan menghitung nilai derajat *membership function* dari seluruh solusi *pareto front optimal* yang tersimpan pada *repository* didapatkan nilai derajat *membership function* terbesar yang menunjukkan bahwa solusi tersebut adalah solusi *pareto front optimal* terbaik dan dari solusi tersebut didapatkan lokasi dan kapasitas DG optimal, hal ini dapat terlihat pada gambar 4.1 dimana menunjuka nilai *pareto front optimal* untuk satu sampai tiga DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Pada Tabel 4.15 menunjukan kolasi dan kapasitas DG optimal pada sistem IEEE 33Bus.



Gambar 4. 1 Solusi *pareto front optimal* untuk (a)1DG (b)2DG dan (c)3DG

Tabel 4. 15 Lokasi dan ukuran DG optimal pada sistem IEEE 33 bus

DG	Lokasi Optimal DG	Ukuran Optimal DG	
	Bus	MW	MVAR
1	29	1.7394	1.15
2	12	1.0252	0.502
	30	1.114	1.0584
3	13	0.8422	0.3736
	30	1.0842	1.0499
	24	1.1308	0.5512

Sesuai dengan hasil optimasi peletakan DG pada Tabel 4.15 selanjutnya diberikan hasil analisis aliran daya aktif yang terdiri dari profil nilai tegangan pada setiap bus, aliran daya, aliran arus, rugi daya aktif dan nilai deviasi tegangan pada jaringan ditunjukkan pada table Tabel 4.16 sampai Tabel 4.24. Guna melihat dampak setiap pemasangan DG pada sistem.

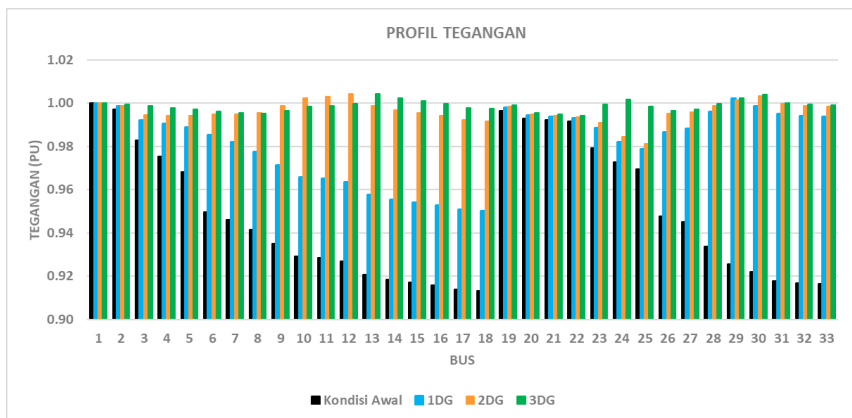
Pada awal analisis aliran daya pada kondisi awal, terdapat beberapa bus mengalami *undervoltage* yang ditandai warna jingga pada Tabel 4.16 dan table 4.17. Dan setelah dipasang satu sampai tiga DG diperoleh profil tegangan yang sesuai dengan standar yakni $1.05 \geq$ tegangan ≥ 0.95 . Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada gambar grafik perbandingan profil tegangan pada setiap kondisi yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4. 16 Profil tegangan pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Voltage(pu)			
1	1	1	1	1
2	0.997032	0.998475	0.998854	0.999516
3	0.982938	0.992088	0.994494	0.998696
4	0.975456	0.990299	0.994201	0.997768
5	0.968059	0.988822	0.994282	0.997186
6	0.949658	0.985375	0.994971	0.996204
7	0.946172	0.982023	0.994852	0.995384
8	0.941310	0.977346	0.995620	0.995161
9	0.935041	0.971318	0.998700	0.996494
10	0.929226	0.965727	1.002294	0.998327
11	0.928366	0.964901	1.002956	0.998716
12	0.926866	0.963459	1.004344	0.999587
13	0.920753	0.957583	0.998713	1.004349

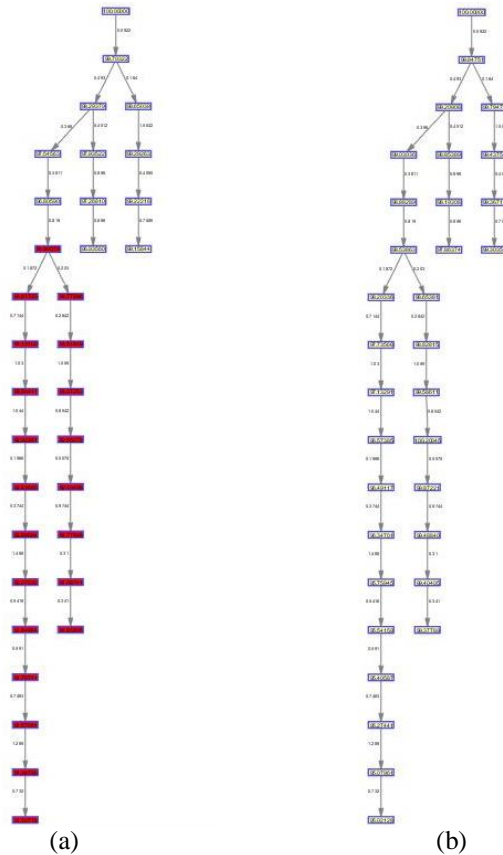
Tabel 4. 17 Profil tegangan pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Voltage(pu)			
14	0.918486	0.955405	0.996625	1.002273
15	0.917074	0.954047	0.995324	1.000979
16	0.915706	0.952733	0.994065	0.999727
17	0.913679	0.950785	0.992198	0.997871
18	0.913072	0.950201	0.991639	0.997315
19	0.996504	0.997947	0.998327	0.998989
20	0.992926	0.994375	0.994756	0.995421
21	0.992222	0.993671	0.994052	0.994718
22	0.991584	0.993035	0.993416	0.994082
23	0.979352	0.988536	0.990950	0.999449
24	0.972681	0.981928	0.984359	1.001732
25	0.969356	0.978634	0.981073	0.998504
26	0.947729	0.986526	0.995280	0.996471
27	0.945165	0.988268	0.995843	0.996973
28	0.933725	0.995843	0.998805	0.999689
29	0.925507	1.001982	1.001436	1.002133
30	0.921950	0.998700	1.003387	1.003975
31	0.917789	0.994861	0.999567	1.000157
32	0.916874	0.994018	0.998727	0.999318
33	0.916590	0.993756	0.998467	0.999058



Gambar 4. 2 Grafik perbandingan profil tegangan bus pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

Pada Aplikasi DSS dapat pula menunjukkan hasil nilai tegangan pada fitur penggambaran SLD (*Draw SLD*) untuk sistem IEEE 33 Bus. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Perbandingan profil tegangan bus pada sistem IEEE 33 bus (a) sebelum dan (b) setelah pemasangan 1 DG

Jika dilihat pada gambar 4.3, Bus berwarna merah menunjukkan bus melanggar batasan tegangan yang telah ditentukan yaitu $1.05 \geq \text{tegangan} \geq 0.95$. Pada kasus ini tegangan pada kondisi awal mengalami *undervoltage*.

Jika dilihat dari hasil aliran daya pada Tabel 4.18 sampai Tabel 4.21 pada pemasangan DG terdapat nilai aliran daya yang bernilai *negative* yang ditunjukkan warna jingga. Hal ini menandakan terdapat perubahan arah aliran daya dari sisi beban menuju ke sisi beban bagian atas atau *grid*. Hal ini terjadi karena nilai profil tegangan beban, lebih besar dari pada tegangan grid, sehingga mengalir daya dari beban menuju ke grid. Adanya fenomena aliran daya keatas menuju grid menimbulkan perubahan arah aliran daya sistem distribusi atau *reverse power flow*.

Tabel 4. 18 Aliran daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Aliran daya Aktif (KW)			
1	3917.6984	2040.6740	1604.7068	669.8952
2	3905.4579	2037.4522	1602.8929	669.5724
3	3392.5284	1565.7140	1136.8468	208.2664
4	2343.0156	535.0959	107.4321	316.8310
5	2204.3165	414.3045	-12.5723	196.7177
6	2106.0674	352.9630	-72.6258	136.6009
7	1093.3744	1091.9872	57.0435	236.8044
8	888.5156	887.4915	-143.0824	36.7910
9	684.3347	683.6260	-344.0715	-163.4056
10	620.7736	620.3342	-405.4185	-223.7754
11	560.2199	559.8224	-465.7466	-283.8870
12	514.3387	514.0081	-511.5074	-329.1803
13	451.6723	451.5446	451.4186	-390.8206
14	390.9432	390.8710	390.7999	390.7908
15	270.5863	270.5414	270.4971	270.4915
16	210.3048	210.2815	210.2584	210.2555
17	150.0532	150.0491	150.0451	150.0446
18	90	90	90	90
19	360.9768	360.9740	360.9733	360.9720
20	270.1446	270.1442	270.1441	270.1439
21	180.0438	180.0436	180.0436	180.0436
22	90	90	90	90
23	936.4304	936.3094	936.2781	-199.0037
24	841.2867	841.2624	841.2561	-289.5982

Tabel 4. 19 Aliran daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

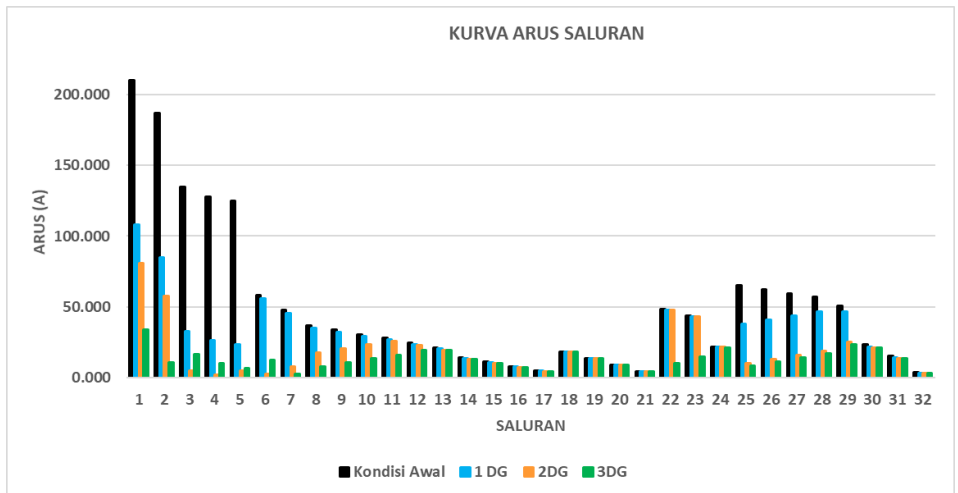
Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Aliran daya Aktif (KW)			
25	420	420	420	420
26	948.1776	-801.6781	-189.7334	-160.3373
27	884.8486	-863.1120	-249.8752	-220.4504
28	813.5478	-929.2558	-310.6748	-281.1163
29	745.7144	-994.5549	-371.5209	-341.8411
30	621.8192	621.5478	-492.4749	-462.6917
31	420.2254	420.1917	420.1899	420.1897
32	270.0130	270.0110	270.0109	270.0109
33	60	60	60	60

Tabel 4. 20 Aliran daya Reaktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Aliran daya Reaktif (KVAR)			
1	2435.1430	1198.4262	760.3194	335.3699
2	2428.9032	1196.7838	759.3948	335.2053
3	2181.4457	970.3078	535.8182	114.0437
4	1674.0667	472.5958	38.7306	173.5911
5	1584.5429	392.1927	-41.2718	93.5333
6	1521.5244	361.0345	-71.3179	63.4324
7	521.5600	520.6854	13.4426	139.7695
8	419.9610	419.2059	-86.5989	39.7650
9	316.9573	316.4287	-187.3095	-60.3762
10	294.4331	294.0954	-208.2643	-80.6383
11	274.2500	273.9262	-228.3728	-100.6753
12	243.9586	243.6569	-258.6244	-130.7723
13	206.8607	206.7187	206.5785	-167.0629
14	170.9009	170.8320	170.7640	170.7554
15	90.5832	90.5385	90.4945	90.4889
16	80.3776	80.3487	80.3202	80.3166
17	60.0416	60.0384	60.0353	60.0349
18	40	40	40	40

Tabel 4. 21 Aliran daya Reaktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Aliran daya Reaktif (KVAR)			
19	160.9249	160.9222	160.9215	160.9202
20	120.1751	120.1746	120.1745	120.1742
21	80.0575	80.0573	80.0573	80.0572
22	40	40	40	40
23	455.0699	454.9745	454.9498	-99.7952
24	401.0082	400.9892	400.9843	-150.2645
25	200	200	200	200
26	972.3108	-185.9592	-104.8045	-96.6545
27	945.6159	-211.6892	-129.8767	-121.7121
28	910.6521	-242.1061	-155.5817	-147.2992
29	883.8279	-266.7226	-176.3189	-167.9306
30	811.8438	811.5688	-246.8047	-238.3639
31	210.2688	210.2287	210.2265	210.2263
32	140.0205	140.0174	140.0173	140.0172
33	40	40	40	40



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan arus saluran pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

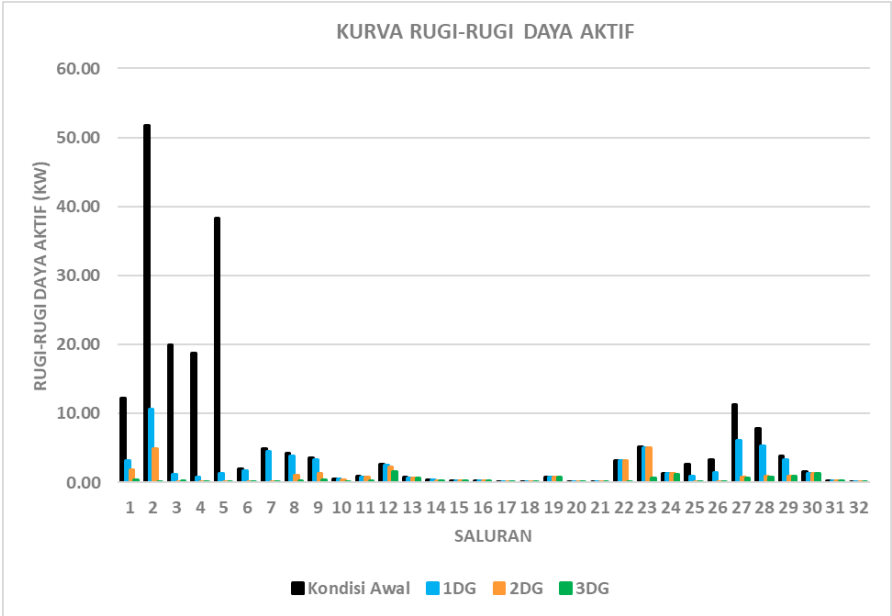
Pengaruh pemasangan DG terlihat pada besaran aliran arus saluran dapat terlihat pada gambar 4.4, dimana dengan pemasangan DG arus yang mengalir pada beberapa saluran menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi awal. Dengan besarnya nilai arus yang mengalir pada saluran menjadi lebih rendah mengakibatkan nilai rugi-rugi saluran dan susut tegangan (*drop* tegangan) menjadi lebih rendah pula. Hal ini dapat terlihat pada tabel 4.22 dan tabel 4.24 yang menunjukkan besaran rugi-rugi daya aktif dan nilai deviasi tegangan.

Tabel 4. 22 Rugi daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

Saluran	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Rugi- rugi Daya Aktif (KW)			
1-2	12.240526	3.221782	1.813889	0.322854
2-3	51.791715	10.603708	4.912485	0.173878
3-4	19.900727	1.186791	0.030130	0.299376
4-5	18.699190	0.791475	0.004477	0.113455
5-6	38.249144	1.341627	0.053479	0.116796
6-7	1.914581	1.772567	0.004053	0.089135
7-8	4.858563	4.495446	0.125779	0.013209
8-9	4.180705	3.865370	0.988834	0.196395
9-10	3.561057	3.291755	1.346974	0.369773
10-11	0.553724	0.511766	0.328114	0.111576
11-12	0.881170	0.814281	0.760805	0.293316
12-13	2.666343	2.463446	2.263144	1.640323
13-14	0.729191	0.673630	0.618791	0.611804
14-15	0.356989	0.329724	0.302824	0.299397
15-16	0.281478	0.259951	0.238716	0.236011
16-17	0.251644	0.232372	0.213366	0.210945
17-18	0.053138	0.049066	0.045051	0.044540
2-19	0.160954	0.160486	0.160363	0.160149
19-20	0.832177	0.829751	0.829115	0.828006
20-21	0.100758	0.100464	0.100387	0.100253
21-22	0.043635	0.043507	0.043474	0.043416
3-23	3.181628	3.121883	3.106456	0.139677
23-24	5.143672	5.046927	5.021946	0.594343
24-25	1.287451	1.263155	1.256882	1.213383
6-26	2.600894	0.881399	0.060073	0.044708
26-27	3.328990	1.433872	0.141801	0.113126
27-28	11.300843	6.143843	0.799580	0.665931

Tabel 4. 23 Rugi daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Saluran	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Rugi-rugi daya Aktif(KW)			
28-29	7.833340	5.299043	0.846126	0.724739
29-30	3.895666	3.317423	0.954356	0.851007
30-31	1.593633	1.356000	1.343248	1.341661
31-32	0.212851	0.181092	0.179388	0.179176
32-33	0.013169	0.011203	0.011097	0.011084
TOTAL	202.699548	65.094804	28.905204	12.153444



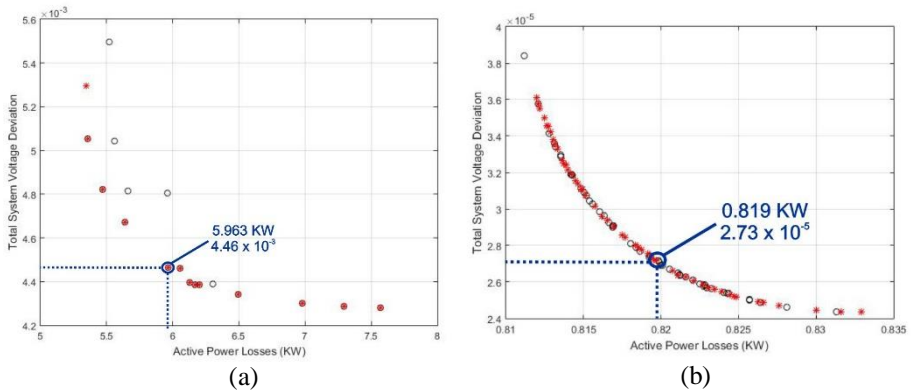
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan Rugi daya aktif pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

Tabel 4. 24 Nilai Deviasi Tegangan pada sistem IEEE 33 bus sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG	3DG
	Deviasi Tegangan			
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000881	0.000233	0.000131	0.000023
3	0.029112	0.006260	0.003032	0.000170
4	0.060239	0.009411	0.003362	0.000498
5	0.102022	0.012495	0.003270	0.000792
6	0.253433	0.021388	0.002529	0.001441
7	0.289742	0.032318	0.002650	0.002131
8	0.344448	0.051321	0.001918	0.002342
9	0.421965	0.082266	0.000169	0.001229
10	0.500895	0.117461	0.000526	0.000280
11	0.513142	0.123197	0.000874	0.000165
12	0.534852	0.133525	0.001887	0.000017
13	0.628005	0.179918	0.000166	0.001891
14	0.664446	0.198874	0.001139	0.000517
15	0.687671	0.211164	0.002186	0.000096
16	0.710546	0.223418	0.003523	0.000007
17	0.745134	0.242213	0.006087	0.000453
18	0.755651	0.247989	0.006990	0.000721
19	0.001222	0.000421	0.000280	0.000102
20	0.005004	0.003164	0.002750	0.002097
21	0.006050	0.004005	0.003537	0.002790
22	0.007082	0.004852	0.004335	0.003502
23	0.042633	0.013143	0.008189	0.000030
24	0.074633	0.032660	0.024465	0.000300
25	0.093905	0.045649	0.035821	0.000224
26	0.273230	0.018154	0.002227	0.001246
27	0.300689	0.013764	0.001728	0.000916
28	0.439234	0.001728	0.000143	0.000010
29	0.554918	0.000393	0.000206	0.000455
30	0.609184	0.000169	0.001147	0.001580
31	0.675871	0.002641	0.000019	0.000002
32	0.690991	0.003579	0.000162	0.000046
33	0.695715	0.003898	0.000235	0.000089
TOTAL	11.71255	2.04167	0.12569	0.02616

4.2.2 Sistem Penyulang Basuki Rahmat Surabaya

Berikut hasil simulasi dan analisis penentuan lokasi serta kapasitas optimal menggunakan metode MOPSO pada tugas ini. Dengan menghitung nilai derajat *membership function* dari seluruh solusi *pareto front* yang tersimpan pada *repository* didapatkan nilai derajat *membership function* terbesar yang menunjukkan bahwa solusi tersebut adalah solusi *pareto front optimal* dan dari solusi tersebut didapatkan lokasi dan kapasitas DG optimal, hal ini dapat terlihat pada gambar 4.6 dimana menunjuka nilai *pareto front optimal* untuk satu sampai tiga DG pada sistem distribusi Basuki Rahmat. Pada Tabel 4.25 menunjukan kolasi dan kapasitas DG optimal pada sistem penyulang Basuki Rahmat.



Gambar 4. 6 Solusi *pareto front optimal* untuk (a)1DG (b)2DG

Tabel 4. 25 Lokasi dan ukuran DG optimal pada sistem penyulang basuki rahmat

DG	Lokasi Optimal DG	Ukuran Optimal DG	
	Bus	MW	MVAR
1	42	4.6925	2.906
2	23	4.6919	2.885
	36	3.6489	2.2006

Sesuai dengan hasil analisis optimasi pada Tabel 4.25 selanjutnya diberikan hasil analisis aliran daya aktif yang terdiri dari profil nilai tegangan pada setiap bus, aliran daya, aliran arus, rugi daya aktif dan nilai deviasi tegangan pada jaringan ditunjukkan pada table Tabel 4.26 sampai Tabel 4.35, guna melihat pengaruh setiap pemasangan DG pada sistem.

Dari simulasi, diperoleh hasil analisis aliran daya untuk kondisi awal, pemasangan satu DG sampai dua DG dan hasilnya diperoleh nilai profil tegangan yang memenuhi batasan $1.05 \geq \text{tegangan} \geq 0.95$. Untuk lebih jelas mengenai nilai profil tegangan pada setiap kasus. Ditunjukkan data tegangan pada Tabel 4.26 sampai Table 4.27 dan plotting kurva tegangan pada Gambar 4.6.

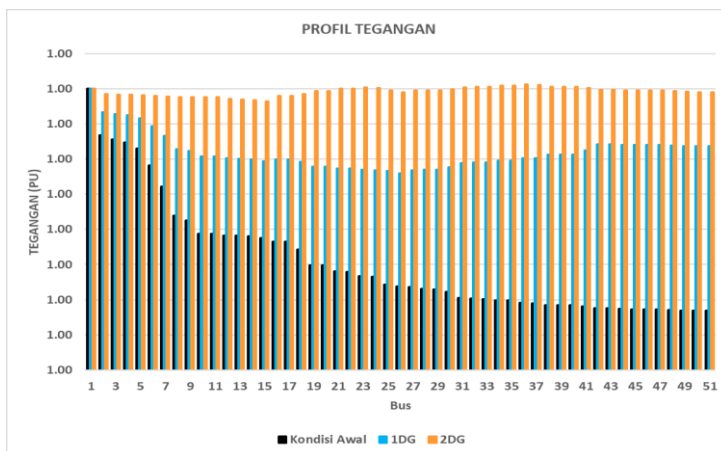
Tabel 4. 26 Profil tegangan pada sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Tegangan (pu)		
1	1	1	1
2	0.999338	0.999670	0.999924
3	0.999277	0.999639	0.999918
4	0.999236	0.999620	0.999915
5	0.999154	0.999581	0.999910
6	0.998913	0.999470	0.999898
7	0.998608	0.999331	0.999886
8	0.998194	0.999146	0.999878
9	0.998123	0.999115	0.999877
10	0.997939	0.999036	0.999879
11	0.997938	0.999035	0.999879
12	0.997912	0.999009	0.999852
13	0.997909	0.999006	0.999849
14	0.997900	0.998996	0.999840
15	0.997877	0.998974	0.999818
16	0.997827	0.998999	0.999900
17	0.997826	0.998998	0.999899
18	0.997713	0.998963	0.999924
19	0.997492	0.998894	0.999972
20	0.997487	0.998889	0.999967
21	0.997401	0.998870	0.999999
22	0.997400	0.998869	0.999998
23	0.997334	0.998853	1.000021
24	0.997325	0.998843	1.000011
25	0.997218	0.998834	0.999980

Tabel 4. 27 Profil tegangan pada sistem sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (Lanjutan)

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Tegangan (pu)		
26	0.997186	0.998801	0.999947
27	0.997185	0.998841	0.999978
28	0.997152	0.998851	0.999978
29	0.997147	0.998847	0.999974
30	0.997112	0.998880	0.999991
31	0.997030	0.998943	1.000021
32	0.997014	0.998956	1.000028
33	0.997013	0.998954	1.000026
34	0.996989	0.998981	1.000041
35	0.996988	0.998980	1.000041
36	0.996955	0.999017	1.000061
37	0.996948	0.999010	1.000054
38	0.996925	0.999069	1.000032
39	0.996922	0.999065	1.000028
40	0.996922	0.999066	1.000029
41	0.996907	0.999122	1.000013
42	0.996879	0.999215	0.999985
43	0.996878	0.999214	0.999985
44	0.996868	0.999204	0.999975
45	0.996865	0.999201	0.999972
46	0.996866	0.999202	0.999973
47	0.996866	0.999202	0.999973
48	0.996858	0.999194	0.999965
49	0.996849	0.999185	0.999956
50	0.996846	0.999182	0.999953
51	0.996845	0.999181	0.999952

Nilai tegangan pada masing-masing bus saat kondisi awal, satu DG dan dua DG sudah memenuhi batasan $1.05 \geq \text{tegangan} \geq 0.95$, hal ini dikarenakan nilai *drop* tegangan pada sistem penyulang Basuki Rahmat sangat kecil. Nilai *drop* tegangan yang rendah ini dipengaruhi oleh nilai Impedansi saluran yang kecil, dimana impedansi dipengaruhi oleh jarak saluran dan untuk sistem Distribusi Basuki rahmat memiliki saluran yang pendek sehingga impedansi saluran kecil.



Gambar 4. 7 Grafik perbandingan Tegangan bus pada sistem Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG

Tabel 4. 28 Aliran daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Aliran daya aktif (KW)		
1	9410.4030	4698.4626	1045.0144
2	9403.8269	4696.8230	1044.9274
3	9233.2249	4526.6784	874.9215
4	9096.8377	4390.5883	738.9187
5	8883.0605	4177.4165	525.9156
6	8744.8373	4040.9422	389.9102
7	8657.0457	3955.3603	304.9058
8	8483.3230	3784.6207	134.9041
9	8440.6911	3742.4967	92.9039
10	8226.0906	3529.2027	-120.0963
11	85	85	85
12	1144.0365	1144.0364	1144.0363
13	1144.0326	1144.0326	1144.0325
14	1080.0221	1080.0221	1080.0221
15	944	944	944
16	6996.1890	2300.0436	-1349.1949
17	85	85	85

Tabel 4. 29 Aliran daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Aliran daya aktif (KW)		
18	6910.35377	2214.95789	-1434.22915
19	6823.7589	2129.8030	-1519.3043
20	425	425	425
21	6398.1408	1704.7571	-1944.3612
22	170	170	170
23	6227.7009	1534.7304	-2114.4102
24	587	587	587
25	5639.9997	947.7047	1990.3513
26	1853	1853	1853
27	3786.8036	-905.3666	137.2875
28	3658.6731	-1033.3770	9.2874
29	944	944	944
30	2714.5557	-1977.4410	-934.7292
31	2646.3266	-2045.5774	-1002.7603
32	2582.2829	-2109.6065	-1066.7674
33	213	213	213
34	2369.2180	-2322.6687	-1279.7858
35	85	85	85
36	2284.1358	-2407.7597	-1364.8139
37	587	587	587
38	1697.0785	-2994.9286	1697.0780
39	349	349	349
40	128	128	128
41	1220.053	-3472.124	1220.052
42	1084.0206	-3608.4795	1084.0205
43	170	170	170
44	914.0101	914.0101	914.0101
45	293	293	293
46	621.0084	621.0084	621.0083
47	136	136	136
48	485	485	485
49	349	349	349
50	213	213	213
51	85	85	85

Tabel 4. 30 Aliran daya reaktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Aliran daya reaktif (KVAR)		
1	5824.7020	2908.9814	726.7496
2	5821.4140	2908.1616	726.7061
3	5716.1128	2803.0892	621.7031
4	5631.9194	2719.0442	537.7017
5	5499.5307	2586.9583	405.7002
6	5414.4191	2502.7212	321.6975
7	5360.0231	2449.4301	268.6953
8	5253.1618	2344.0603	163.6944
9	5226.8457	2317.9983	137.6943
10	5094.0455	2185.8513	5.6942
11	53	53	53
12	709.0182	709.0182	709.0182
13	709.0163	709.0163	709.0163
14	669.0111	669.0110	669.0110
15	585	585	585
16	4331.5947	1423.7718	-756.3551
17	53	53	53
18	4278.17703	1370.72893	-809.37221
19	4224.3795	1317.6515	-862.4098
20	263	263	263
21	3961.0704	1054.6285	-1125.4383
22	105	105	105
23	3855.8504	949.6151	-1230.4628
24	363	363	363
25	3492.4998	586.6023	1291.5239
26	1148	1148	1148
27	2344.4018	-561.4333	143.4920
28	2265.3366	-640.4385	64.4920
29	585	585	585
30	1680.2779	-1225.4705	-520.5163
31	1638.1633	-1267.5387	-562.5319
32	1598.1415	-1307.5533	-602.5354
33	132	132	132
34	1466.1090	-1439.5844	-734.5446

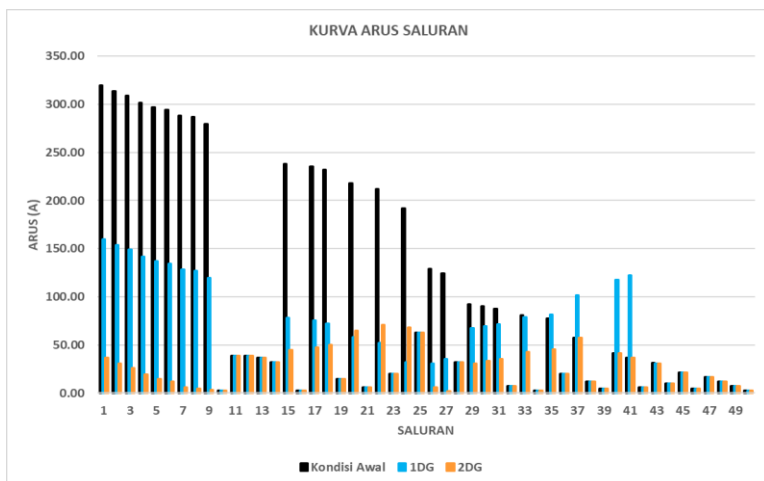
Tabel 4. 31 Aliran daya reaktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Aliran daya reaktif (KVAR)		
35	53	53	53
36	1413.0679	-1492.6299	-787.5587
37	363	363	363
38	1050.0393	-1855.7143	1050.0390
39	216	216	216
40	79	79	79
41	755.0264	-2150.8122	755.0262
43	105	105	105
44	566.0051	566.0051	566.0050
45	182	182	182
46	384.0042	384.0042	384.0042
47	84	84	84
48	300	300	300
49	216	216	216
50	132	132	132
51	53	53	53

Jika dilihat dari hasil aliran daya pada Tabel 4.28 sampai Tabel 4.31 khususnya pada bagian tabel yang berwarna jingga, terdapat nilai aliran daya yang bernilai negatif, hal ini menandakan terdapat perubahan arah aliran daya dimana terdapat suplai daya dari sisi beban menuju ke sisi beban bagian atas. Hal ini terjadi karena nilai profil pada bus yang dipasangkan DG lebih besar dari pada beban diatasnya, sehingga mengalir daya dari beban menuju bus beban diatasnya. Adanya fenomena perubahan arah aliran daya sistem distribusi sehingga menimbulkan *reverse power flow*.

Pengaruh pemasangan DG pada besaran aliran arus saluran dapat terlihat pada Gambar 4.7, dimana dengan pemasangan DG, arus yang mengalir pada beberapa saluran menjadi lebih rendah dan adapula yang menjadi lebih besar dibandingkan kondisi awal. Dengan besarnya nilai arus yang mengalir pada saluran berubah mengakibatkan nilai rugi-rugi saluran dan nilai deviasi tegangan berubah pula. Hal ini dapat terlihat pada Tabel 4.32 dan table 4.35 yang menunjukkan besaran rugi-rugi daya aktif dan nilai deviasi tegangan. Jika dilihat nilai rugi-rugi daya aktif pada beberapa saluran ada yang menjadi lebih rendah ada pula yang menjadi lebih tinggi terutama pada saluran yang tersambung pada bus yang terpasang DG. Hal ini dipengaruhi besaran arus yang mengalir pada saluran tersebut. Akan tetapi nilai rugi-rugi daya seluruh sistem jika di jumlahkann maka didapatkan nilai yang lebih rendah setelah pemasangan DG.

Terjadi kenaikan rugi daya jaringan pada sistem. Hal ini terjadi adanya fenomena *reverse power* pada sistem, yang ditandai dengan besar tegangan pada bus beban yang terpasang DG jauh lebih besar jika dibandingkan tegangan bus beban lain dan bus grid. Sehingga akan mengalir arus yang besar dari Bus yang terpasang DG menuju beban yang ada di bus atasnya DG bahkan dapat mengalir ke grid, sehingga kelebihan daya pada sistem akan disuplai keluar.



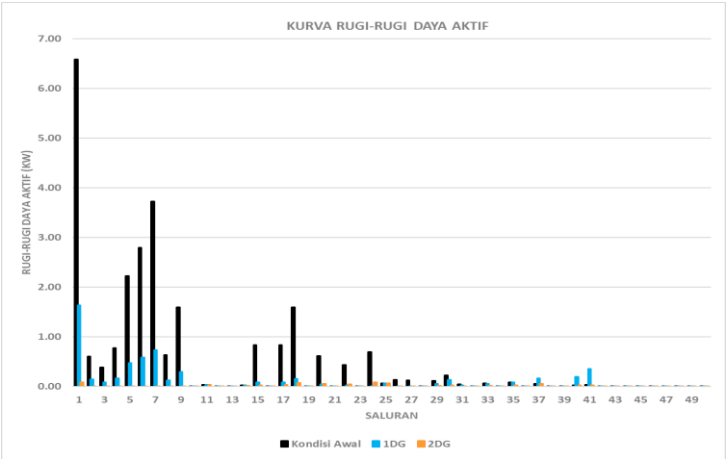
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan Tegangan bus pada sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG

Tabel 4. 32 Rugi-rugi daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Saluran	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Rugi-rugi Daya Aktif (KW)		
1-2	6.576104	1.639570	0.086990
2-3	0.602000	0.144609	0.005873
3-4	0.387217	0.090148	0.002821
4-5	0.777124	0.171741	0.003136
5-6	2.223206	0.474274	0.005359
6-7	2.791678	0.581990	0.004436
7-8	3.722636	0.739581	0.001677
8-9	0.631955	0.124005	0.000176
9-10	1.600434	0.293962	0.000246
10-11	0.000067	0.000067	0.000067
10-12	0.033044	0.032972	0.032916
12-13	0.003829	0.003821	0.003814
13-14	0.010499	0.010476	0.010458
14-15	0.022143	0.022095	0.022057
10-16	0.832036	0.089707	0.029277
16-17	0.000113	0.000112	0.000112
16-18	0.835128	0.085566	0.034137
18-19	1.594868	0.154875	0.075199
19-20	0.002308	0.002302	0.002297
19-21	0.615751	0.043568	0.054598
21-22	0.000175	0.000174	0.000174
21-23	0.439738	0.026615	0.048789
23-24	0.006143	0.006124	0.006110
23-25	0.695104	0.019558	0.088429
25-26	0.063923	0.063716	0.063570
25-27	0.132157	0.007536	0.000261
27-28	0.130505	0.010381	0.000030
28-29	0.004038	0.004024	0.004015
28-30	0.113328	0.059965	0.012654
30-31	0.229140	0.136465	0.031085
31-32	0.043697	0.029075	0.007070
32-33	0.000390	0.000389	0.000388
32-34	0.064527	0.061824	0.017989
34-35	0.000063	0.000063	0.000062

Tabel 4. 33 Rugi-rugi daya aktif pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG (lanjutan)

Saluran	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Rugi-rugi Daya Aktif (KW)		
34-36	0.082108	0.090964	0.028085
36-37	0.004238	0.004220	0.004212
36-38	0.053046	0.164627	0.052717
38-39	0.001255	0.001249	0.001247
38-40	0.000386	0.000384	0.000383
38-41	0.024075	0.194223	0.023925
41-42	0.032179	0.355028	0.031980
42-43	0.000130	0.000130	0.000129
42-44	0.010354	0.010306	0.010290
44-45	0.000781	0.000777	0.000776
44-46	0.000976	0.000972	0.000970
46-47	0.000027	0.000027	0.000027
46-48	0.004417	0.004396	0.004389
48-49	0.003136	0.003122	0.003117
49-50	0.000715	0.000712	0.000711
50-51	0.000095	0.000095	0.000095
TOTAL	25.402988	5.962584	0.819328



Gambar 4. 9 Grafik perbandingan Rugi daya aktif pada sistem penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG

Tabel 4. 34 Perbandingan deviasi tegangan pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Deviasi Tegangan		
1	0.000000	0.000000	0.00000000
2	0.000044	0.000011	0.00000057
3	0.000052	0.000013	0.00000067
4	0.000058	0.000014	0.00000072
5	0.000072	0.000018	0.00000081
6	0.000118	0.000028	0.00000104
7	0.000194	0.000045	0.00000129
8	0.000326	0.000073	0.00000148
9	0.000352	0.000078	0.00000151
10	0.000425	0.000093	0.00000146
11	0.000425	0.000093	0.00000148
12	0.000436	0.000098	0.00000219
13	0.000437	0.000099	0.00000228
14	0.000441	0.000101	0.00000257
15	0.000451	0.000105	0.00000333
16	0.000472	0.000100	0.00000099
17	0.000473	0.000100	0.00000102
18	0.000523	0.000108	0.00000058
19	0.000629	0.000122	0.00000008
20	0.000632	0.000124	0.00000011
21	0.000675	0.000128	0.00000000
22	0.000676	0.000128	0.00000000
23	0.000711	0.000132	0.00000004
24	0.000716	0.000134	0.00000001
25	0.000774	0.000136	0.00000004
26	0.000792	0.000144	0.00000028
27	0.000792	0.000134	0.00000005
28	0.000811	0.000132	0.00000005
29	0.000814	0.000133	0.00000007
30	0.000834	0.000126	0.00000001
31	0.000882	0.000112	0.00000005
32	0.000891	0.000109	0.00000008
33	0.000892	0.000109	0.00000007
34	0.000907	0.000104	0.00000017
35	0.000907	0.000104	0.00000017
36	0.000927	0.000097	0.00000038
37	0.000932	0.000098	0.00000030

Tabel 4. 35 Perbandingan deviasi tegangan pada sistem Penyulang Basuki Rahmat sebelum dan setelah pemasangan DG

Bus	Kondisi Awal	1DG	2DG
	Deviasi Tegangan		
38	0.000945	0.000087	0.00000010
39	0.000947	0.000087	0.00000008
40	0.000947	0.000087	0.00000008
41	0.000957	0.000077	0.00000002
42	0.000974	0.000062	0.00000002
43	0.000975	0.000062	0.00000002
44	0.000981	0.000063	0.00000006
45	0.000983	0.000064	0.00000008
46	0.000982	0.000064	0.00000007
47	0.000982	0.000064	0.00000007
48	0.000987	0.000065	0.00000012
49	0.000993	0.000066	0.00000019
50	0.000995	0.000067	0.00000022
51	0.000995	0.000067	0.00000023
TOTAL	0.03414	0.00446	0.00003

4.3 Validasi Data menggunakan Software ETAP

Pada penelitian ini digunakan metode *Topology Network* untuk mencari nilai aliran daya aktif pada saluran distribusi radial dengan *software* MATLAB. Hasil perhitungan metode *Topology Network* tersebut perlu divalidasi untuk dibuktikan nilai kebenarannya. Salah satu alat atau *tool* yang dapat digunakan untuk menganalisis sistem tenaga listrik dan memvalidasi hasil perhitungan adalah *software* ETAP.

Validasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dengan menggunakan metode *Modified Newton Raphson*. Validasi didapat dengan membandingkan selisih perhitungan dari kedua metode tersebut.

4.3.1 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Distribusi Radial IEEE 33 BUS

Pada Tabel 4.36 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total Rugi-rugi Daya Aktif dari setiap jumlah pemasangan DG pada Sistem Jaring 33 Bus. *Error* rata-rata untuk validasi nilai total rugi-rugi daya aktif dari setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33.

Tabel 4. 36 Hasil Validasi nilai total rugi-rugi daya aktif setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33 bus

Jumlah DG	Rugi-rugi Daya Aktif (KW) MATLAB	Rugi-rugi Daya Aktif (KW) ETAP	Error (%)
1 DG	65.094804	65.092470	0.0036
2DG	28.905204	28.903730	0.0051
3DG	12.153444	12.152069	0.0113

Dari tabel hasil validasi didapatkan nilai error terbesar berada pada kasus pemasangan 3 DG sebesar 0.0113%.

Pada Tabel 4.37 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total deviasi tegangan dari setiap jumlah pemasangan DG pada Sistem Jaring 33 Bus. *Error* rata-rata untuk validasi nilai deviasi tegangan dari setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33.

Tabel 4. 37 Hasil Validasi nilai total rugi-rugi daya aktif losses setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33 bus

Jumlah DG	Total Deviasi Tegangan MATLAB	Total Deviasi Tegangan ETAP	Error (%)
1 DG	2.041673988	2.04230	0.03078
2DG	0.125686153	0.12578	0.07306
3DG	0.02616328	0.02617	0.01839

Dari tabel hasil validasi didapatkan nilai error terbesar berada pada kasus pemasangan 2 DG sebesar 0.07306%.

4.3.2 Sistem Penyulang Basuki Rahmat Surabaya

Pada Tabel 4.38 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total Rugi-rugi Daya Aktif dari setiap jumlah pemasangan DG pada Sistem penyulang Basuki Rahmat Surabaya. *Error* rata-rata untuk validasi nilai total rugi-rugi daya aktif dari setiap kasus pada sistem penyulang Basuki Rahmat Surabaya.

Tabel 4. 38 Hasil Validasi nilai total rugi-rugi daya aktif setiap kasus pada sistem jaringan penyulang Basuki Rahmat Surabaya

Jumlah DG	Rugi-rugi Daya Aktif (KW) MATLAB	Rugi-rugi Daya Aktif (KW) ETAP	Error (%)
1 DG	5.962584	5.947290	0.25715
2DG	0.819328	0.819190	0.01681

Dari tabel hasil validasi didapatkan nilai error terbesar berada pada kasus pemasangan 1DG sebesar 0.25715%.

Pada Tabel 4.39 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total deviasi tegangan dari setiap jumlah pemasangan DG pada Sistem penyulang Basuki Rahmat Surabaya. *Error* rata-rata untuk validasi nilai total deviasi tegangan dari setiap kasus pada sistem jaringan penyulang Basuki Rahmat Surabaya.

Tabel 4. 39 Hasil Validasi nilai total deviasi tegangan setiap kasus pada sistem jaringan penyulang Basuki Rahmat Surabaya

Jumlah DG	Total Deviasi Tegangan MATLAB	Total Deviasi Tegangan ETAP	Error (%)
1 DG	0.004463587	0.00449	0.69778
2DG	0.0000273	0.000027	1.33234

Dari tabel hasil validasi didapatkan nilai error terbesar berada pada kasus pemasangan 2DG sebesar 1.33234%.

4.4 Perbandingan Metode MOPSO dan PSO

Pada penelitian ini digunakan metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) didapatkan untuk sistem IEEE 33 bus untuk kasus pemasangan 3 DG dan akan dibandingkan dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) [14] dengan fungsi objektif yang sama serta sistem yang sama dalam menentukan lokasi dan kapasitas DG didapatkan hasil seperti dibawah ini:

Tabel 4. 40 Hasil Perbandingan Metode MOPSO dan PSO

Metode	Lokasi DG	Kapasitas DG		P Losses (KW)	VMin (pu)	VMax (pu)
		MW	MVar			
MOPSO	13	0.8422	0.3736	12.153	0.9941	1.0043
	24	1.0842	1.0499			
	30	1.1308	0.5512			
PSO	13	0.5378	0.5973	19.63	0.9864	1.0016
	24	1.0589	0.8329			
	30	0.9677	0.8326			

Dari tabel 4.40 didapatkan bawah lokasi peletakan DG sama, selain itu nilai kapasitas DG yang dihasilkan relatif berbeda dengan Metode MOPSO memiliki kapasitas daya aktif lebih besar dibandingkan metode PSO, sedangkan Metode PSO memiliki jumlah kapasitas daya reaktif lebih besar dibandingkan metode MOPSO. Dengan metode MOPSO yang digunakan pada tugas akhir ini didapatkan nilai rugi-rugi daya aktif jaringan yang lebih rendah, selain itu tegangan maksimum (V_{Max}) dan tegangan minimum (V_{Min}) lebih baik dibandingkan dengan metode PSO.

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) mampu menganalisis penentuan lokasi dan kapasitas *Distributed Generation* (DG) dengan memodelkan total rugi daya jaringan dan nilai total deviasi tegangan kedalam bentuk matematis dan di evaluasi dengan aliran daya aktif, Sehingga didapatkan nilai lokasi dan kapastias DG yang optimal.
- Adanya fenomena *reverse power flow* memberikan tanda adanya perubahan arah aliran daya pada sistem yang awalnya satu arah dari sumber ke beban menjadi dua arah dari beban ke sumber
- Dengan pemasangan *Distributed Generation* (DG) berdampak pada perubahan nilai arus yang mengalir pada saluran sehingga mempengaruhi nilai rugi-rugi daya dan susut tegangan.
- Pada sistem IEEE 33 bus, diperoleh jumlah DG optimal sebanyak 3 DG yakni, pada bus 13, bus 24 dan bus 30 dengan kapasitas DG 0.921 MVA, 1.258 MVA dan 1.509 MVA. Dari pemasangan tersebut mampu menurunkan total rugi daya jaringan dari 202.7 kW menjadi 12.153 KW serta menaikkan profil tegangan dari 0.91 p.u menjadi 0.9941 p.u untuk tegangan terendah.
- Pada sistem penyulang Basuki Rahmat (Surabaya), diperoleh jumlah DG optimal sebanyak 2 DG yakni, pada bus 23 dan Bus 36 dengan kapasitas total DG 5.508 MVA dan 4.261 MVA. Dari pemasangan tersebut mampu menurunkan total rugi daya jaringan dari 25.38 kW menjadi 0.819 KW serta menaikkan profil tegangan untuk nilai tegangan dengan ketilitian yang lebih tinggi.

5.2 Saran

Berikut saran yang diberikan untuk perbaikan dan pengembangan topik pada tugas akhir ini :

- Menambahkan pertimbangan teknis lain selain tegangan dan rugi-rugi dalam menentukan lokasi dan kapasitas DG seperti hubung singkat, koordinasi proteksi, harmonisa, pengaruh *reverse power flow* di *grid*, pengaruh perubahan bentuk aliran daya listrik, dan fenomena *islanding*.
- Menambahkan pertimbangan pengaruh nonteknis pada analisis lokasi dan kapasitas optimal DG seperti kondisi lingkungan, kondisi geografis, kelayakan implelementasi DG pada lokasi terpilih dan maksimal kapasitas DG yang mampu diimplementasikan kedalam lokasi tersebut.
- Menambahkan hasil luaran analisis, selain kapasitas dan lokasi DG. Seperti jenis dan spesifikasi detail DG yang digunakan.
- Metode MOPSO ini hanya untuk sistem radial, sehingga perlu dikembangkan untuk sistem *weakly mesh* yakni gabungan sistem *loop* dan radial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Molazei, "Maximum loss reduction through DG optimal placement and sizing by MOPSO algorithm," *Recent Res Env. Biomed*, vol. 4, pp. 143–147, 2010.
- [2] P. S. Georgilakis and N. D. Hatziargyriou, "Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods, and future research," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 3420–3428, 2013.
- [3] H. Saadat, *Power system analysis*. McGraw-Hill, 1999.
- [4] A. Bhutad, S. Kulkarni, and S. Khaparde, "Three-phase load flow methods for radial distribution networks," presented at the TENCON 2003. Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific Region, 2003, vol. 2, pp. 781–785.
- [5] Wanxing Sheng, Ke-yan Liu, and Sheng Cheng, "Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation," *IET Gener. Transm. Distrib.*, pp. 261–272, 2014.
- [6] S. B. Dasan, S. S. Ramalakshmi, and R. K. Devi, "Optimal siting and sizing of hybrid distributed generation using EP," presented at the Power Systems, 2009. ICPS'09. International Conference on, 2009, pp. 1–6.
- [7] B. Singh and J. Sharma, "A review on distributed generation planning," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, pp. 529–544, 2017.
- [8] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: a definition1," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001.
- [9] C. A. C. Coello, G. T. Pulido, and M. S. Lechuga, "Handling multiple objectives with particle swarm optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 8, no. 3, pp. 256–279, 2004.
- [10] A. Zeinalzadeh, Y. Mohammadi, and M. H. Moradi, "Optimal multi objective placement and sizing of multiple DGs and shunt capacitor banks simultaneously considering load uncertainty via MOPSO approach," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 67, pp. 336–349, 2015.
- [11] K. Mahesh, P. Nallagownden, and I. Elamvazuthi, "Advanced Pareto front non-dominated sorting multi-objective particle swarm

- optimization for optimal placement and sizing of distributed generation,” *Energies*, vol. 9, no. 12, p. 982, 2016.
- [12] Suyanto, “Decision Support System (DSS) – CP Berbasis Advanced OPF HCT: Simulator Perencanaan, Operasi dan Optimasi Jaringan Sistem Distribusi Radial,” *ITS*, 2018.
 - [13] M. J. Druzdzel and R. R. Flynn, “Decision support systems. Encyclopedia of library and information science. A. Kent,” *Marcel Dekker Inc Last Login*, vol. 10, no. 03, p. 2010, 1999.
 - [14] D. Prakash and C. Lakshminarayana, “Multiple DG Placements in Distribution System for Power Loss Reduction Using PSO Algorithm,” *Procedia Technol.*, vol. 25, pp. 785–792, 2016.
 - [15] Knazkins, V., 2004. *Stability of power systems with large amounts of distributed generation* (Doctoral dissertation, Elektrotekniska system).
 - [16] Bawan, E.K., 2012, September. Distributed generation impact on power system case study: Losses and voltage profile. In *Power Engineering Conference (AUPEC), 2012 22nd Australasian Universities* (pp. 1-6). IEEE.
 - [17] Chakraborty, P., Das, S., Roy, G.G. and Abraham, A., 2011. On convergence of the multi-objective particle swarm optimizers. *Information Sciences*, 181(8), pp.1411-1425.
 - [18] Kumar, V. and Minz, S., 2014. Multi-objective particle swarm optimization: an introduction. *SmartCR*, 4(5), pp.335-353.

LAMPIRAN

1. Data Saluran IEEE 33 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus Kirim	Bus Terima	R	X
1	2	0.0922	0.0470
2	3	0.4930	0.2511
3	4	0.3660	0.1864
4	5	0.3811	0.1941
5	6	0.8190	0.7070
6	7	0.1872	0.6188
7	8	0.7144	0.2351
8	9	1.0300	0.7400
9	10	1.0440	0.7400
10	11	0.1966	0.0650
11	12	0.3744	0.1238
12	13	1.4680	1.1550
13	14	0.5416	0.7129
14	15	0.5910	0.5260
15	16	0.7463	0.5450
16	17	1.2890	1.7210
17	18	0.7320	0.5740
2	19	0.1640	0.1565
19	20	1.5042	1.3554
20	21	0.4095	0.4784
21	22	0.7089	0.9373
3	23	0.4512	0.3083
23	24	0.8980	0.7091
24	25	0.8960	0.7011
6	26	0.2030	0.1034
26	27	0.2842	0.1447
27	28	1.0590	0.9337
28	29	0.8042	0.7006
29	30	0.5075	0.2585
30	31	0.9744	0.9630
31	32	0.3105	0.3619
32	33	0.3410	0.5302

2. Data Beban IEEE 33 Bus

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
1	0.0000	0.0000
2	0.1000	0.0600
3	0.0900	0.0400
4	0.1200	0.0800
5	0.0600	0.0300
6	0.0600	0.0200
7	0.2000	0.1000
8	0.2000	0.1000
9	0.0600	0.0200
10	0.0600	0.0200
11	0.0450	0.0300
12	0.0600	0.0350
13	0.0600	0.0350
14	0.1200	0.0800
15	0.0600	0.0100
16	0.0600	0.0200
17	0.0600	0.0200
18	0.0900	0.0400
19	0.0900	0.0400
20	0.0900	0.0400
21	0.0900	0.0400
22	0.0900	0.0400
23	0.0900	0.0500
24	0.4200	0.2000
25	0.4200	0.2000
26	0.0600	0.0250
27	0.0600	0.0250
28	0.0600	0.0200
29	0.1200	0.0700
30	0.2000	0.6000
31	0.1500	0.0700
32	0.2100	0.1000
33	0.0600	0.0400
TOTAL	3.7150	2.3000

3. Data Saluran Penyulang Basuki Rahmat (Surabaya)

Saluran		Impedansi (ohm)	
Bus Kirim	Bus Terima	R	X
1	2	0.021476	0.010738
2	3	0.002039	0.00102
3	4	0.001351	0.000675
4	5	0.002843	0.001422
5	6	0.008388	0.004194
6	7	0.010741	0.005371
7	8	0.014902	0.007451
8	9	0.002555	0.001278
9	10	0.00681	0.003405
10	11	0.002673	0.001336
10	12	0.007266	0.003633
12	13	0.000842	0.000421
13	14	0.002591	0.001295
14	15	0.007151	0.003575
10	16	0.004894	0.002447
16	17	0.004473	0.002237
16	18	0.005034	0.002517
18	19	0.009855	0.004928
19	20	0.003678	0.001839
19	21	0.004327	0.002164
21	22	0.001741	0.00087
21	23	0.003261	0.001631
23	24	0.005131	0.002566
23	25	0.006283	0.003141
25	26	0.005351	0.002675
25	27	0.00265	0.001325
27	28	0.002803	0.001401
28	29	0.001302	0.000651
28	30	0.004422	0.002211
30	31	0.009406	0.004703
31	32	0.001884	0.000942
32	33	0.002472	0.001236
32	34	0.003305	0.001653
34	35	0.002489	0.001244
34	36	0.004525	0.002263
36	37	0.003537	0.001769

36	38	0.005295	0.002647
38	39	0.002961	0.001481
38	40	0.00678	0.00339
38	41	0.004649	0.002324
41	42	0.00787	0.003935
42	43	0.001297	0.000648
42	44	0.003561	0.00178
44	45	0.002609	0.001305
44	46	0.000728	0.000364
46	47	0.000426	0.000213
46	48	0.005398	0.002699
48	49	0.0074	0.0037
49	50	0.004528	0.002264
50	51	0.003781	0.001891

4. Data Beban Penyulang Basuki Rahmat (Surabaya)

Bus	Beban		Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)		P (MW)	Q(MVAR)
1	0.0000	0.0000	39	0.349	0.216
2	0.17	0.105	40	0.128	0.079
3	0.136	0.084	41	0.136	0.084
4	0.213	0.132	42	0	0
5	0.136	0.084	43	0.17	0.105
6	0.085	0.053	44	0	0
7	0.17	0.105	45	0.293	0.182
8	0.042	0.026	46	0	0
9	0.213	0.132	47	0.136	0.084
10	0	0	48	0.136	0.084
11	0.085	0.053	49	0.136	0.084
12	0	0	50	0.128	0.079
13	0.064	0.04	51	0.085	0.053
14	0.136	0.084	Total		
15	0.944	0.585			
16	0	0			
17	0.085	0.053			
18	0.085	0.053			
19	0	0			
20	0.425	0.263			
21	0	0			
22	0.17	0.105			
23	0	0			
24	0.587	0.363			
25	0	0			
26	1.853	1.148			
27	0.128	0.079			
28	0	0			
29	0.944	0.585			
30	0.068	0.042			
31	0.064	0.04			
32	0	0			
33	0.213	0.132			
34	0	0			
35	0.085	0.053			
36	0	0			
37	0.587	0.363			
38	0	0			

... Decision Support System : PSSL - ITS ...

82

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fericko Satya Wicaksana, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Dilahirkan pada 18 Desember 1995 di Kota Jakarta oleh pasangan Bapak Suroto dan Ibu Santy Yulita. Penulis besar di Jakarta, akan tetapi menghabiskan masa kecil berpindah-pindah kota karena harus mengikuti sang Ayah yang berprofesi sebagai anggota Polri. Mengawali pendidikan di SD Bhayangkari 1 Balikpapan sampai dengan tahun 2008 kemudian penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan menengah pertama di SMPN 85

Jakarta sampai tahun 2011 dan melanjutkan pendidikan menengah akhir di SMA Dwiwarna Boarding School Parung, Bogor hingga tahun 2014. Sejak tahun 2014 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Sepuluh Nopember, bidang studi Sistem Tenaga. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif di dalam Himpunan Masiswa sebagai bagian dari Departemen Hubungan Luar HIMATEKTRO selama 2 kepengurusan dan juga aktif sebagai asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email fericko1812@gmail.com